

RAQUEL FINKLER

**AVALIAÇÃO DO EFEITO TÓXICO DE LÍQUIDOS
PERCOLADOS SOBRE O SISTEMA REPRODUTIVO DE**
Daphnia magna

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. William Gerson Matias

**Co-orientador: Dr. Armando Borges
Castilhos Jr.**

Florianópolis

2002

**AVALIAÇÃO DO EFEITO TÓXICO DE LÍQUIDO PERCOLADO GERADO EM UM
ATERRO SANITÁRIO NO SISTEMA REPRODUTIVO DE *DAPHNIA MAGNA***

RAQUEL FINKLER

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental

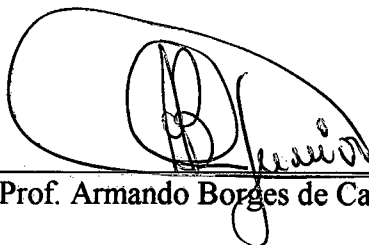
Aprovado por:



Prof.ª Neide Hessin, Msc.



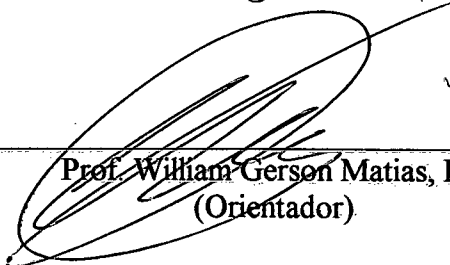
Prof.ª Rejane Helena Ribeiro da Costa, Dr.ª.



Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.



Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
(Coordenador)



Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
FEVEREIRO/2002

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. William Gerson Matias pela orientação e confiança demonstrada ao longo do convívio.

Ao Professor Carlos Pinnent pelo auxílio na análise estatística dos dados.

Às Professoras Neide Pessin e Claudia Teixeira Panarotto pelas dicas, sugestões e estímulo.

Ao Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul, pelo apoio e confiança.

À colega Catia pela amizade, companheirismo e momentos felizes.

Aos amigos Glades e Paulo, sobretudo pela amizade e ensinamentos.

Aos colegas, mas principalmente amigos, Karina, Joel e Gian.

Aos bolsistas Eduardo, Anderson e Nadja pelo convívio e auxílio.

Ao corpo técnico do LIMA pelo auxílio na execução das análises.

Aos meus amigos, os quais não cito nomes pois inevitavelmente esqueceria alguém, pela força e incentivo mesmo quando não estava próxima.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES pela bolsa de mestrado.

À Deus, sobretudo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 O Microcústáceo <i>Daphnia magna</i>	6
3.1.1 Classificação Taxonômica	6
3.1.2 Características morfológicas gerais	7
3.1.3 O sistema reprodutivo	9
3.1.4 O papel ecológico	11
3.1.5 Testes de toxicidade aguda e crônica	13
3.2 Resíduos Sólidos	14
3.2.1 A situação atual dos resíduos sólidos	14
3.2.2 Os sistemas de aterro sanitário	17
3.2.3 Geração de líquido percolado	20

3.2.4 Fase aeróbia ou hidrolítica	25
3.2.5 Fase fermentativa	25
• Fase Acetogênica	27
• Fase Metanogênica	27
3.2.6 Composição do líquido percolado	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 Características do município onde os dados foram coletados	33
4.2 Aterro Sanitário de Biguaçu – Biguaçu/SC	34
4.3 Procedimento de coleta de amostras de líquido percolado	35
4.4 Parâmetros físico-químicos monitorados	36
4.5 Bioensaios com microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>	37
4.5.1 Cultivo do microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>	37
4.5.2 Cultivo de algas <i>Scenedesmus subspicatus</i>	37
4.5.3 Teste de sensibilidade com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$)	38
4.5.4 Procedimento para os testes de toxicidade aguda	39
4.5.5 Ensaios de reprodução preliminares	40
4.5.6 Ensaios de reprodução definitivos	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Caracterização do líquido percolado	44
5.2 Teste de sensibilidade com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$)	50
5.4 Testes de toxicidade aguda com líquido percolado	53
5.4 Avaliação dos ensaios de reprodução preliminares	56
5.5 Avaliação dos ensaios de reprodução definitivos	60

5.5.1 Análise dos resultados – líquido percolado bruto	60
5.5.2 Análise dos resultados – líquido percolado tratado	65
5.6.3 Avaliação dos resultados obtidos nos ensaios de reprodução definitivos	70
6. CONCLUSOES	75
6.1 Recomendações	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXO I	84
ANEXO II	96
ANEXO III	99
ANEXO IV	102

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 -	Concentrações médias encontradas para parâmetros físico-químicos monitorados para líquido percolado bruto e tratado	45
TABELA 5.2 -	Resultados obtidos no acompanhamento dos parâmetros físico-químicos da água de diluição utilizada nos ensaios de sensibilidade e toxicidade aguda	51
TABELA 5.3 -	Valores obtidos de Concentração Efetiva (CE_{50}), expressa em $mg.L^{-1}$ de dicromato de potássio $K_2Cr_2O_7$, para o reativo biológico <i>Daphnia magna</i>	52
TABELA 5.4 -	Resultados obtidos para os ensaios de toxicidade aguda 24h e 48h, (CE_{50}), expressa em $mg.L^{-1}$, e respectiva Unidade Tóxica (UT) para as amostras de líquido percolado bruto coletadas no Aterro de Biguaçu	54
TABELA 5.5 -	Resultados dos parâmetros biológicos acompanhados no primeiro ensaio preliminar	57
TABELA 5.6 -	Resultados dos parâmetros biológicos acompanhados no segundo ensaio preliminar	58
TABELA 5.7 -	Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com <i>Daphnia magna</i> (F_0) contaminada com líquido percolado bruto	60

TABELA 5.8 -	Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com <i>Daphnia magna</i> (F ₁) previamente contaminada com líquido percolado bruto	64
TABELA 5.9 -	Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com <i>Daphnia magna</i> (F ₀) contaminada com líquido percolado tratado	66
TABELA 5.10 -	Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com <i>Daphnia magna</i> (F ₁) previamente contaminada com líquido percolado tratado	69

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 3.1 -	Efeitos da atividade microbiológica para sistemas de aterramento de resíduos sólidos (Fonte: Barres et al., 1995).	24
QUADRO 3.2 -	Evolução temporal das características do líquido percolado (adptado de Millot, 1986 e Amokrane et al., 1997).	29
QUADRO 4.1 -	Concentrações de líquido percolado bruto e tratado utilizadas nos ensaios de reprodução preliminares	41
QUADRO 4.2 -	Concentrações de líquido percolado bruto e tratado utilizadas nos ensaios de reprodução definitivos	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - <i>Daphnia magna</i> (Foto Laboratório de Toxicologia/ENS/USFC)	7
FIGURA 3.2 - Principais problemas ambientais causados pela disposição à céu aberto de resíduos sólidos (Fonte: Pineda, 1998).	16
FIGURA 3.3 - Diagrama das etapas de degradação e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Fonte: Novaes., 1986).	26
FIGURA 4.1 - Lay-out do Aterro Sanitário de Biguaçu	34
FIGURA 5.1 - Número de daphnias imóveis observadas nas diferentes concentrações testadas nos ensaios de sensibilidade	51

RESUMO

O líquido percolado de aterro sanitário é o produto das múltiplas reações químicas, físicas e biológicas que ocorrem na massa de resíduos aterrada. Em decorrência destes fenômenos, o percolado apresenta uma ampla variedade de compostos e íons que conferem ao mesmo características peculiares. Havendo, desta forma, a necessidade de implantação de sistemas de tratamento adequados para a remoção da carga poluidora, com o objetivo de reduzir o risco ao meio ambiente. No presente trabalho monitorou-se, nos meses de março a julho de 2001, um sistema de tratamento de líquido percolado constituído por lagoas de estabilização em série. Os pontos de coleta foram: afluente da lagoa de captação de líquido percolado e efluente da última lagoa de tratamento, antes do sistema de desinfecção. Para avaliar o efeito tóxico do líquido percolado realizou-se ensaios de toxicidade aguda (24 e 48 horas) e ensaios de reprodução multigeracional utilizando o reativo biológico *Daphnia magna*, assim como caracterizou-se as amostras através da determinação de parâmetros físico-químicos. O líquido percolado bruto apresentou um elevado potencial tóxico (CL₅₀ 10,00% a 3,45%). Enquanto, o líquido percolado tratado não apresentou toxicidade aguda. Quanto aos ensaios de reprodução com *D.magna*, o líquido percolado bruto alterou o ciclo reprodutivo do reativo biológico nas gerações F₀ (parental) e em menor grau a F₁ (primeira geração). Enquanto o líquido percolado tratado afeta a reprodução de *D.magna* para as gerações F₀, estimulando-a, e F₁ inibindo seu ciclo reprodutivo.

Palavras-chave: Toxicidade aguda, ensaios de reprodução, *Daphnia magna*, líquidos percolados, resíduos sólidos, aterro sanitário.

ABSTRACT

The landfill leachate is the product of several chemical, physical and biological reactions that occur in the landfilling waste mass. Due to this phenomenon, the leachate presents a large variety of compounds and ions that causes peculiar characteristics. Therefore there is the necessity of implanting treatment systems to remove the organic load reducing, this way, the environmental risk. In 2001, from March to July, the present study monitored a leachate treatment system with stabilization lagoons. We collected effluent of leachate capture lagoon and effluent of the last treatment lagoon, before the disinfection system was done. To evaluate the leachate toxic effect, acute toxicity assays (24 and 48 hours) and multigeneration reproduction assays were done using a biological reactive called *Daphnia magna* and characterizing samples by the determination of the physical-chemical parameters. The raw leachate showed a high toxic potential (LC₅₀ 10% at 3,45%). However, treated leachate didn't seem to be toxic. About the reproduction assays with *D. magna*, the raw leachate changed the biological reactive reproduction cycle in the F₀ generation (parental) and in, lower level, the F₁ (first generation). The treated leachate affects the *D. magna* reproduction for F₀ generations, stimulating it, and F₁, inhibiting its reproduction cycle.

Palavras-chave: acute toxicity, reproduction assay, *Daphnia magna*, leachates, solid waste, landfill.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado do meio urbano, sem melhorias na infra-estrutura do mesmo, acarreta em uma série de alterações ambientais, as quais interferem na qualidade de vida da população. Dentre estes problemas, pode-se citar o acentuado aumento na geração de resíduos sólidos e a sua disposição que deve ser de forma adequada, conforme critérios rigorosos de engenharia, para diminuir riscos de poluição ambiental e de saúde pública. Sendo assim, os aterros sanitários caracterizam-se como uma alternativa viável e eficaz para o tratamento dos resíduos.

Em um sistema de aterramento de resíduos sólidos ocorre um grande número de transformações químicas, físicas e biológicas, resultando na formação de biogás e líquido percolado.

O líquido percolado, ou também denominado chorume, é resultante da infiltração da água das chuvas e degradação de compostos que percolam através da massa de resíduo aterrada, carreando materiais dissolvidos ou suspensos.

O chorume é o produto da degradação e solubilização de resíduos sólidos, em decorrência da digestão anaeróbia da matéria orgânica por ação das exoenzimas produzidas pelas bactérias. A função dessas enzimas é a de solubilizar esta massa orgânica para que possa ser assimilada pelas células bacterianas (Clareto, 1997).

O líquido percolado não apresenta uma composição definida, pois vários fatores são interferentes, entre eles: composição do resíduo, densidade, pré-tratamento, sequência de disposição, profundidade, umidade, temperatura e tempo.

Segato & Silva (2000) destacam que os principais componentes existentes no líquido percolado são:

- Substâncias orgânicas medidas mediante os parâmetros DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e COT (Carbono Orgânico Total);
- Nitrogênio em forma de nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e amônia;
- Halogênios inorgânicos, carbonatos, cloretos, sulfatos e íons sódio, potássio e cálcio e
- Metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre, entre outros.

A ampla variedade de compostos e íons que constituem o líquido percolado conferem ao mesmo um elevado potencial poluidor, caso não seja tratado adequadamente. Desta forma, há a necessidade de implantação de sistemas de tratamento, os quais podem ser físico-químicos, biológicos ou ambos, dependendo das características do percolado. Tais sistemas objetivam a remoção da carga poluidora e devem ser monitorados, acompanhando-se parâmetros físico-químicos e biológicos, para verificação da sua eficiência sanitária e adequação às normas de controle ambiental.

Torres et al. (1997) afirmam que “o tratamento destes percolados normalmente é realizado através de processos biológicos aeróbios, anaeróbios ou combinados, pois possuem um custo relativamente baixo de manutenção, operação e implantação, apresentando valores de eficiência de, aproximadamente, 90%”.

A obtenção de uma elevada eficiência do sistema de tratamento não significa uma redução efetiva do potencial tóxico e carga poluidora do efluente, pois podem permanecer substâncias inibidoras ou não biodegradáveis que serão lançadas em corpos receptores e causando um impacto sobre a flora e fauna existente em um dado ecossistema.

Neste sentido, Da Luz (1998), em seu trabalho, avaliou a eficiência do sistema de tratamento de líquido percolado instalado no Aterro Sanitário do município de Biguaçu – SC, realizando análises físico-químicas e, também, ensaios de toxicidade aguda utilizando *Poecilia reticulata* como bioindicador, para as amostras coletadas na entrada e saída da estação. Os resultados demonstraram uma elevada eficiência de remoção de toxicidade do efluente na ordem de 90%.

No presente trabalho foram realizados estudos sobre o efeito dos líquidos percolados do Aterro Sanitário de Biguaçu, bruto e tratado, sobre o processo de reprodução do reativo biológico *Daphnia magna*, assim como monitorou-se e avaliou-se a eficiência do sistema de tratamento de percolado utilizando parâmetros físico-químicos e ensaios de toxicidade aguda.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito tóxico do líquido percolado do Aterro Sanitário de Biguacú, através do monitoramento da toxicidade, utilizando o reativo biológico *Daphnia magna*, e parâmetros físico-químicos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o grau de toxicidade do percolado, bruto e tratado, sobre o reativo biológico *Daphnia magna*.
- Avaliar o efeito do líquido percolado, bruto e tratado, sobre o processo de reprodução do reativo biológico *Daphnia magna*.
- Caracterizar o líquido percolado gerado no Aterro Sanitário de Biguacú – SC, através do monitoramento de parâmetros físico-químicos.

- Verificar a eficiência do sistema de tratamento de líquido percolado em operação no Aterro Sanitário de Biguacú quanto ao grau de toxicidade e carga poluidora.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Microcrustáceo *Daphnia magna*

3.1.1 Classificação taxonômica

O microcrustáceo *Daphnia magna* Straus, 1820 também chamado popularmente de pulga d'água, é amplamente utilizado como indicador da qualidade das águas em testes de toxicidade. Sua classificação taxonômica é apresentada abaixo (Stores, 1974):

- Filo: Arthropoda;
- Classe: Crustacea;
- Subclasse: Branchiopoda;
- Supra-ordem: Displotraca;
- Ordem: Cladocera;
- Subordem: Eucladocera;
- Superfamília: Daphnioidea;
- Família: Daphniidae.

3.1.2 Características morfológicas gerais

A *Daphnia magna* é um organismo que habita águas doces lânticas, principalmente lagoas, lagos e represas continentais, sendo inativos em regiões de estuários e rios na América do Norte. A Figura 3.1 apresenta o aspecto geral do microcrustáceo *D.magna*.

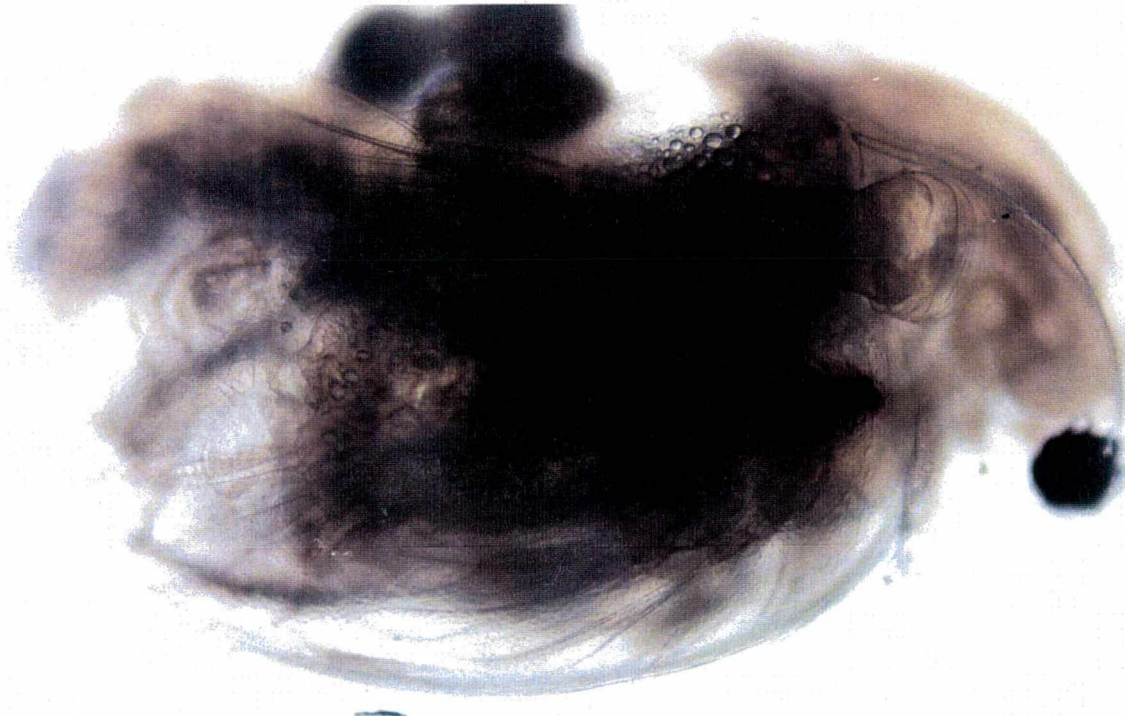


FIGURA 3.1 –*Daphnia magna* (Foto Laboratório de Toxicologia/ENS/UFSC).

Esse organismo tem o corpo encerrado em uma carapaça bivalve transparente, exceto cabeça e antenas e seu tamanho varia de 0,5 a 5 mm. Koivisto (1995) afirma que *D.magna* é o maior cladocera herbívoro no hemisfério norte, com um tamanho adulto de 5-6 mm. Ainda o autor afirma que o tamanho corpóreo é um importante fator no que se refere ao acúmulo de agentes tóxicos nos animais.

O corpo é comprimido lateralmente e é dividido em segmentos com uma cabeça anterior, um tórax mediano e um abdômen posterior. A cabeça expande-se na parte anterior a carapaça, sendo curva e inclinada ventralmente. A mesma é unida ao corpo dorsalmente e separada na região ventral por uma cavidade profunda.

A característica mais notável da cabeça de *D.magna* é os dois pares de antenas. A antena secundária grande surge de cada lado da cabeça, sendo que a mesma possui ramificações e auxilia na locomoção, funcionando como um remo e aumentando a área superficial em contato com a água durante o movimento. A antena primária é pequena nas fêmeas e nos machos é maior funcionando como órgão sensorial. Ainda na região anterior da cabeça, é possível observar um par de olhos grandes, móveis e compostos que estão embebidos no corte do cérebro.

Por sua vez, a carapaça é um envoltório duplo da parede do corpo, que tem como características a camada prolongada, superficial e flexível envolvida ao longo da linha dorsal formando duas válvulas.

A região torácica constitui a maior parte do corpo de *D.magna* e está completamente encerrada dentro da carapaça. O tórax estreita-se, transformando-se no abdômen, o qual é flexível e móvel. Em geral, o abdômen é arqueado assim que dobra-se por baixo da carapaça. A extremidade posterior possui um par de alças abdominais e o ânus abre-se na superfície dorsal do abdômen posterior. O abdômen posterior e suas alças são usados para limpar os apêndices torácicos.

No que se refere a anatomia interna de *D.magna*, verifica-se na cavidade torácica o coração do organismo, o qual possui um simples par de óstios. As contrações do coração bombeiam o sangue ao interior da cabeça e a partir daí flui posteriormente até o tórax. O sangue flui por três canais: dois laterais, os quais irrigam cada lado da carapaça e um

mediano que conduz ventralmente o sangue até o intestino e ramificações dos apêndices torácicos. O sangue retorna ao coração a partir de cada uma dessas áreas (Fox, 2000).

O sistema digestório pode ser parcialmente evidente e estende-se a partir da boca, através do tórax final, abdômen posterior até o ânus próximo ao final distal do abdômen posterior. *D.magna* alimenta-se de algas, bactérias, protozoários e detritos orgânicos. O alimento é capturado pelas patas torácicas, sendo levado até a boca, onde é triturado (pois possui mandíbula) e posteriormente encaminhado ao intestino. O alimento fica retido por meia a três horas, filtrando 85ml de água em 24 horas (Frello, 1998).

3.1.3 O sistema reprodutivo

O ciclo reprodutivo das daphnias dependendo das condições ambientais pode ocorrer de duas formas: assexuada e sexuada. As fêmeas são geradas sob condições ótimas, tais como temperatura (aproximadamente 20°C), fotoperíodo (16 horas/claro, 8 horas/escuro) e população pequena e alimento adequado (Zhang & Baer, 2000). Alterações extremas nestas condições, fotoperíodo e temperatura reduzidos, elevada densidade populacional, acúmulo de produtos excretados e/ou diminuição na disponibilidade de alimento, podem gerar machos de *D.magna* (Habaek & Larsson, 1990, citados por Zhang & Baer, 2000).

Sob condições normais, a fêmea atinge o estágio reprodutivo em 9 dias e nos próximos doze dias pode gerar de 40 a 80 filhotes (Block & Balk, 1995). Assim, durante um longo tempo, a população natural de daphnias consiste quase exclusivamente de fêmeas. Os machos aparecem de forma mais abundante na primavera e outono (Cooney, 1995).

As gônadas localizam-se na porção ventral torácica e lateral do intestino. Os gonodutos abrem-se para o exterior via os gonosporos posteriores ao último par de apêndices torácicos. Nas fêmeas, o ovário abre-se dorsalmente, via um oviduto, dentro da bolsa incubadora. Nos machos, os dutos deferentes direcionam-se a um gonosporo ventral (Fox, 2000).

As fêmeas têm uma grande abertura na bolsa incubadora localizada abaixo da carapaça dorsal na região torácica posterior, onde os ovos são depositados e incubados até completarem o desenvolvimento embrionário e transformarem-se em jovens. Neste período, os filhotes são liberados e assumem uma vida independente.

As fêmeas produzem dois tipos de ovos. No verão, desenvolvem-se por partenogênese, sem fertilização, sendo armazenados na bolsa incubadora até que eclodam. Neste momento, junto com os filhotes, a carapaça ou exoesqueleto também é liberada (Cooney, 1995).

Por outro lado, no inverno os ovos são produzidos somente após fertilização. Esses ovos, também são liberados dentro da bolsa incubadora, onde são fertilizados e imediatamente liberados pela fêmea. Os ovos liberados são denominados latentes ou de inverno ou, também, efípios. Os efípios estão encerrados em uma proteção cuticular quitinosa escura (Frello, 1998).

Os ovos de inverno são haplóides e a presença dos machos é necessária para a fertilização e desenvolvimento. Segundo Stores (1974) os ovos de algumas espécies (de cladocéranos) de água doce são resistentes à seca durante dois ou mais anos e podem ser espalhados pelos ventos. Desta forma, os ovos entram em estágio de latência e eclodem na primavera como fêmeas partenogênicas. Assim, após várias gerações de fêmeas, organismos diferentes geneticamente dos progenitores terão surgido.

O ciclo de vida das daphnias pode ser dividido em quatro estágios (Pennak, 1978 citado por Cooney, 1985): ovo, jovem, adolescente e adulto. Exceto no primeiro estágio, não se observa dimorfismo entre jovens e adultos.

3.1.4 O papel ecológico

O zooplâncton de ambientes dulcícolas apresenta três grupos de organismos predominantes: Rotífera, Copepode e Cladoceran. No último grupo inclui-se *D. magna*, o qual é o maior cladoceran herbívoro no hemisfério norte (Koivisto, 1995).

Sánchez et al. (1999) afirma que “... os cladocerans são componentes importantes de muitos ecossistemas de água doce. Apesar de sua importância, pouca informação publicada está disponível sobre a sensibilidade dos cladocerans.”

O microcrustáceo *Daphnia* é um organismo que desempenha um importante papel em ecossistemas dulcícolas, uma vez que é um filtrador efetivo do fitoplâncton (maior produtor primário em lagos), convertendo-o, assim como faz com bactérias, a proteína animal, e servindo de alimento para predadores invertebrados e vertebrados (Hanazato, 1998).

Devido a sua importância na cadeia alimentar de ambientes lacustres, a *Daphnia* torna-se um bom indicador da qualidade de águas, já que a avaliação das alterações no seu comportamento durante a exposição por um período de tempo a um efluente poderia indicar os possíveis efeitos ambientais causados por este no meio natural. Além disso, mudanças na população interferem nos outros níveis tróficos do ecossistema aquático (Frello, 1998).

D. magna já foi utilizada em testes de toxicidade na década de 40 e nos últimos 20 anos é amplamente usada em testes de toxicidade aguda e crônica, testes regulatórios, bem

como em pesquisa básica ecotoxicológica (Baudo, 1987; Koivisto, 1995; Zhang & Baer, 2000).

Baudo (1987) comenta que parece evidente a escolha de *D.magna* para a realização de testes de toxicidade devido as suas características: pequeno tamanho, elevada fecundidade, ciclo de vida curto, reprodução partenogênica e fácil manutenção em laboratório.

A Environment Canadá citada por Cooney (1995) apresenta razões para a seleção de daphnias para seu uso rotineiro em testes de toxicidade:

- As daphnias são amplamente distribuídas em corpos d'água doce e estão presentes em uma grande faixa de habitats.
- As daphnias são um importante elo em muitas cadeias alimentares e é uma significativa fonte de alimento para pequenos peixes.
- As daphnias têm um ciclo de vida relativamente curto e são relativamente fáceis de cultivar em laboratório.
- As daphnias são sensíveis a uma ampla faixa de contaminantes aquáticos e são amplamente usados como organismos teste para avaliação da toxicidade aguda e crônica de substâncias químicas ou efluentes.
- O pequeno tamanho das daphnias requer volumes reduzidos de água de diluição e teste.

Além disso, pode-se citar a reprodução assexual, onde clones geneticamente idênticos estão disponíveis durante todo o ano (Block & Balk, 1995).

3.1.5 Testes de toxicidade aguda e crônica

Os testes comumente utilizados, agudo e crônico, determinam a toxicidade de um agente tóxico e os dados resultantes possibilitam determinar uma concentração confiável da substância química ou efluente para serem lançados ao meio ambiente.

Nos testes de toxicidade aguda é avaliado o efeito de uma substância ou um composto químico sob um grupo de indivíduos por um período de exposição de até 48 horas. Segundo Frello (1998), “o teste de toxicidade (agudo) evidencia uma situação, mas não identifica a causa.”

Nos estudos de toxicidade crônica verifica-se o comportamento de *D.magna* por um período de 14-21 dias, para determinar os efeitos causados pelo agente tóxico sob o organismo.

Villarroel et al. (2000) comenta que os critérios para estimação de toxicidade com estudos crônicos são sobrevivência e número total de filhotes gerados. Além destes, Koivisto (1995) cita o tamanho corpóreo como sendo um dos parâmetros de ciclo de vida mais freqüentemente estudados. Certos parâmetros do ciclo de vida correlacionam-se com outros. Lampert (1993) afirma que o tamanho da prole (de daphnias) tem uma correlação positiva intensa com o tamanho corpóreo maternal. Assim, mães maiores produzem mais ovos do que mães menores.

Os estudos crônicos permitem estimar as concentrações de agentes tóxicos que causam efeitos subletais. Porém, esses ensaios iniciam com filhotes gerados por fêmeas não expostas previamente a substâncias químicas, ignorando a exposição na oogênese e embriogênese e a transferência do agente tóxico das mães para os filhotes (Sánchez et al., 1999; Villarroel et al., 2000). Os procedimentos atuais, dos testes de toxicidade crônicos,

não representam adequadamente os efeitos crônicos do agente tóxico. Assim, ensaios que também testam a reprodução de uma segunda geração avaliariam os reais efeitos tóxicos.

Neste contexto, muitos estudos de toxicidade têm sido realizados para determinar o efeito da exposição a substâncias químicas e efluentes em gerações sucessivas de *D.magna* (Sánchez et al., 1999).

Outro aspecto interessante, para uma avaliação mais precisa dos efeitos crônicos causados por um agente tóxico, seria investigar a recuperação de um organismo, após o stress causado pela exposição. Para tanto, o organismo, após a contaminação, é transferido a um meio isento de substâncias químicas. Neste sentido, Sánchez et al. (1999) sugerem o acompanhamento da sobrevivência, crescimento e reprodução para avaliar a capacidade de recuperação da população, a qual indica a resistência do meio biótico a situações de stress e está associada a suas propriedades adaptativas.

Também, deve-se levar em consideração, que os indivíduos recém-nascidos são mais sensíveis ao stress ambiental podendo influenciar na sua reprodução e seu desenvolvimento (Hanazato, 1998).

3.2 Resíduos Sólidos

3.2.1. A situação atual dos resíduos sólidos

O atual modelo econômico modificou o comportamento de consumo da população, bem como o modo de produção de bens. No mercado são colocados produtos que em pouco tempo tornam-se obsoletos. Além disso, em virtude de uma forte estrutura de marketing, bens supérfluos tornam-se de necessidade básica. Esse modelo (econômico, social e ambiental) acaba sendo insustentável, divergindo dos princípios da Agenda 21.

Neste contexto, torna-se evidente um incremento considerável na geração de resíduos sólidos. A produção per capita de resíduos sólidos nas grandes cidades aumentou de 500 gramas para 1,2 Kg por dia, creditando-se boa parte desta marca ao Plano Real e ao aumento do poder aquisitivo das classes de renda muito baixas (Bio, 1998).

Esse dado apresenta que o acréscimo na quantidade de resíduo gerado é alarmante uma vez que, na grande maioria dos municípios brasileiros, não há planos de gerenciamento de resíduos, e muitos não têm sequer coleta domiciliar. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico mostrou que cerca de 63,6% dos municípios do Brasil depositam seus resíduos sólidos urbanos em lixões, 18,4% em aterros controlados e 13,8% em aterros sanitários, índices que preocupam exatamente pelo risco que representam para a saúde pública e ambiental (IBGE, 2002).

O resíduo, lançado a céu aberto, causa proliferação de vetores de doenças, como moscas, mosquitos, baratas, ratos e outros; geração de maus odores; a poluição do solo e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, através do líquido percolado (Bio, 1999). A Figura 3.2 apresenta um esquema indicando os principais problemas ambientais resultantes da disposição de resíduos sólidos à céu aberto.

Assim, os resíduos sólidos dispostos principalmente em lixões a céu aberto, tornam-se responsáveis diretos pelo desequilíbrio ambiental de áreas urbanas, poluindo, também, rios e lagoas, o que compromete a vegetação aquática e a extinção de espécies animais.

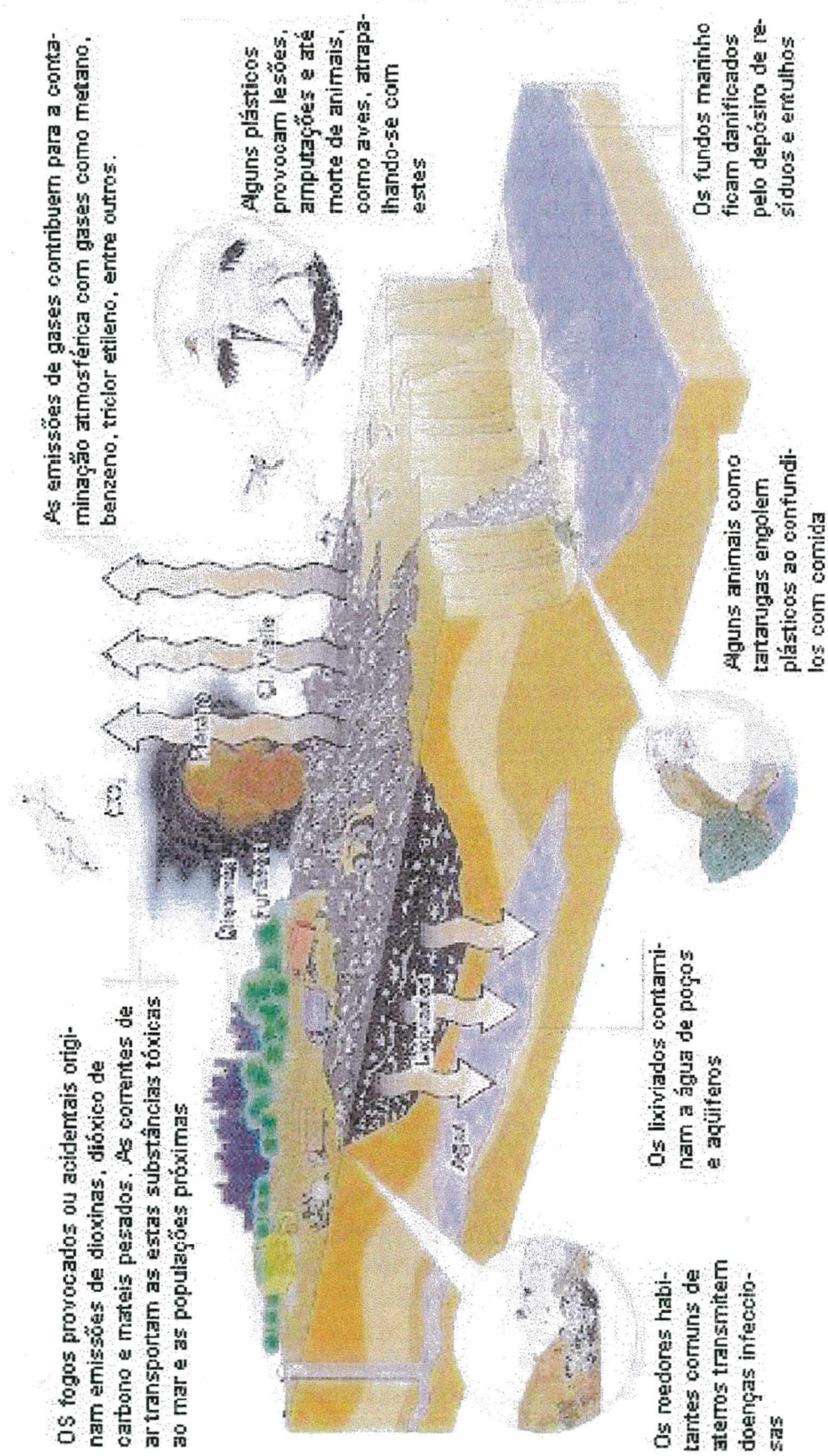


FIGURA 3.2 - Principais problemas ambientais causados pela disposição a céu aberto de resíduos sólidos.
(Fonte: Pineda, 1998).

Outro fator agravante da disposição de resíduos a céu aberto e que ocorre comumente em países em desenvolvimento, é a presença de pessoas que catam materiais reaproveitáveis e restos de alimentos. Assim, estando em contato direto com o resíduo, o qual pode conter excrementos humanos e de animais. Tal situação acarreta problemas graves à saúde, tais como: incidência elevada de parasitas intestinais, lesões nas mãos e pés e enfermidades respiratórias e dérmicas (Jaramillo, 1991).

Ainda, deve-se ressaltar que nos aterros controlados e lixões há um total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos, desconsiderando sua toxicidade potencial; os riscos à saúde pública e aos problemas de contaminação ambiental, uma vez que junto com os resíduos domésticos, são dispostos os resíduo perigosos como os materiais radioativos, substâncias inflamáveis, corrosivas, radioativas e tóxicas; restos de embalagens de pesticidas, alimentos e medicamentos com validade vencida; e os resíduos de matadouros e abatedouros, que deveriam ser dispostos em aterros ou incineradores especiais (Bio, 1999).

3.2.2 Aterros sanitários

Vários são os aspectos negativos da geração desordenada e disposição inadequada dos resíduos sólidos. Esses efeitos podem ser minimizados através da adoção de técnicas de tratamento de resíduos sólidos.

Entre as formas de tratamento dos resíduos sólidos, destacam-se os aterros sanitários como o método de disposição de resíduos mais utilizado no Brasil para minimizar impactos negativos, quanto aos aspectos ambiental e de saúde pública. Neste sentido, Pineda (1998) afirma que dos distintos métodos de disposição final, o que parece ser o mais adequado a realidade da América Latina, é o aterro sanitário. Também,

Loukidou & Zouboulis (2001) dizem que “o método de aterramento sanitário para última disposição de resíduos sólidos municipais continua sendo amplamente aceito e usado, especialmente entre os países do Mediterrâneo”.

Assim, tem-se que os aterros sanitários são uma opção viável e vastamente utilizada no âmbito mundial devido às diversas vantagens desta tecnologia (Jaramillo, 1991):

- O tempo de retorno do capital inicial é inferior ao necessário para implantar qualquer dos métodos de tratamento: incineração ou compostagem;
- Baixos custos de operação e manutenção;
- Um aterro sanitário é um método completo e definitivo;
- Gera emprego para mão de obra não qualificada;
- Pode-se recuperar gás metano em grandes aterros sanitários que recebem mais de 200 ton/dia, o que constitui uma fonte alternativa de energia;
- Pode-se recuperar terrenos que haviam sido considerados improdutivos ou marginais, tornando-os úteis para a construção de parque, área recreativa, campo esportivo, etc;
- Um aterro sanitário pode começar a funcionar em curto tempo como método de eliminação;
- É um método considerado flexível, já que não precisa de instalações permanentes e fixas e também devido estar apto para receber maiores quantidades adicionais de resíduos com pouco aumento de pessoal.

Segundo a ABNT (1985), aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é a “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de

engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”

O aterro sanitário é definido por Ojima (1991) como o “aterramento de resíduo com compactação e cobertura diária, incluindo a drenagem e tratamento de líquidos percolados e a drenagem e tratamento de gases”.

Também, Jaramillo (1991) conceitua aterro sanitário como “uma técnica de eliminação final de resíduos sólidos no solo. Esta técnica utiliza princípios de engenharia para confinar o lixo em uma área a mais pequena possível, cobrindo-o com camadas de terra diariamente e compactando-o para reduzir o volume. Além disso, prevê os problemas que podem causar os líquidos e gases produzidos no aterro, pelo efeito da decomposição da matéria orgânica.”

Para ser considerado aterro sanitário, um sistema de disposição final de resíduos deve apresentar as seguintes características (Pineda, 1998; Jaramillo, 1991):

- Lugar adequado: seleção deve ser criteriosa para maior segurança;
- Proteção de águas subterrâneas;
- Proteção das águas superficiais;
- Proteção visual;
- Proteção contra a circulação livre de pessoas e animais;
- Proteção contra insetos, roedores, aves, entre outros;
- Controle e drenagem de líquido percolado e gases;
- Período de projeto maior que 10 anos;
- Cobertura diária com uma camada de 0,10 ou 0,20m de terra e cobertura final com terra de altura maior que 0,60m;

- Caminhos de acesso e internos transitáveis até a frente de trabalho;
- Controle de entrada dos resíduos sólidos;
- Zonas de manutenção, segurança e higiene;
- Compactação dos resíduos.

Na construção de um aterro sanitário, a face em contato com o solo deve receber uma camada de argila compactada e muitas vezes uma camada extra de material plástico especial, para impermeabilização. Também, deve haver poços de coleta, bombeamento de chorume gerado e tubulações para coletar o gás. Quando o aterro atinge a saturação, camadas de terra são colocadas para cobrir, impermeabilizar parcialmente e promover o crescimento de vegetação (Switzenbaum, 1992).

No Brasil, observa-se que a maioria dos aterros não possui critérios operacionais, de implantação e de monitoramento ou, simplesmente, não os adotam, dificultando, desta forma, a caracterização do líquido percolado e gases gerados. Também, uma das principais questões de projeto de aterros é a definição do sistema de tratamento. A capacidade da instalação dependerá da extensão do aterro, vida útil e a presença de constituintes tóxicos, e como fator determinante a carga orgânica presente no líquido percolado.

3.2.3 Geração de líquido percolado

Os aterros sanitários caracterizam-se como sendo grandes reatores, onde prevalecem as condições anaeróbias. Segundo Lima (1996), “a célula de aterro assume o comportamento de um biodigestor ou reator biológico, podendo ser definido, guardando as particularidades, como um reator heterogêneo não convencional, pois a matéria orgânica

presente no lixo, quando aterrada, sofre um processo de digestão similar ao que ocorre no trato digestivo de um ruminante.”

Segundo Venkataramani et al. (1984) no interior de um aterro vários processos físico, químico e biológico ocorrem, produzindo compostos que podem ser dissolvidos ou suspensos em água. Desses processos há a formação de líquido percolado, também denominado chorume ou lixiviado, e metano (biogás). O processo de decomposição bioquímica que ocorre no interior de um aterro desempenha um papel crucial determinando os impactos adversos potenciais que um aterro pode ter durante e além de sua vida útil (Lo, 1996).

Esse sistema de disposição de resíduos necessita de um controle efetivo, uma vez que os produtos finais da degradação, apresentam características peculiares, o que podem causar impactos ambientais, caso não sejam manejados e tratados adequadamente (Finkler, 1999). Além disso, Quasim & Chiang (1994) afirmam que de forma a minimizar os impactos ambientais negativos, usualmente resultantes da aplicação deste método, é necessário ter particular atenção a seleção do local de disposição, o qual poderia também ser apropriadamente projetado, construído, operado e monitorado.

Clareto (1997) define líquido percolado como sendo o produto da degradação e solubilização de resíduos sólidos, em decorrência da digestão anaeróbia de matéria orgânica por ação das exoenzimas produzidas pelas bactérias. A função dessas enzimas é a de solubilizar esta massa orgânica para que possa ser assimilada pelas células bacterianas.

Para Torres (1997) o líquido percolado é “... o líquido originado em locais como aterros sanitários e lixões, resultado da água pluvial que cai sobre essas áreas, da decomposição e da umidade dos resíduos sólidos que drenam e percolam através dos

interstícios e camadas de lixo, propiciando, dessa forma, uma série de reações e processos físico-químicos e biológicos de degradação.”

Pineda (1998) conceitua líquido percolado, de forma sucinta, como sendo “... o líquido que se infiltra através dos resíduos sólidos e que extrai materiais dissolvidos ou em suspensão.”

O líquido percolado de aterro é uma água residuária complexa com uma variação considerável na composição e fluxo volumétrico (Trebouet et al., 2001). O tamanho da partícula, grau de compactação, composição do resíduo, técnica de aterramento, tipo de cobertura, hidrologia do local, clima e idade do aterro estão entre os fatores, os quais afetam a quantidade e qualidade do líquido percolado (Venkataramani et al., 1984).

Para Ehrig (1992) devido a estes fatores, a descrição da quantidade de água de um aterro pode ser feita de forma muito esquemática. O autor continua afirmando que a quantidade dos lixiviados é determinada fundamentalmente por processos de reação bioquímica que tem lugar no aterro e por suas condições ambientais.

Segundo Lema et al. (1988) “a quantidade de chorume gerado dependerá principalmente do volume de chuva precipitada no local, que varia conforme a região estação do ano, além da porosidade do material de cobertura do aterro, que também está diretamente relacionada com a concentração dos compostos químicos presentes no chorume.”

Quando chove, uma certa quantidade de água entra no aterro sanitário já que uma parte se perde escorrendo na superfície e pela evapotranspiração, o restante filtra-se através dos resíduos o aterro sanitário e é contaminada com diversos componentes. A geração do lixiviado ocorre quando as características absorventes dos resíduos são excedidas (capacidade de campo), produzindo-se a percolação (Pineda, 1998).

Neste sentido, Segato & Silva (2000) afirmam que ao infiltrar a água através dos resíduos em decomposição, materiais biológicos e compostos químicos são arrastados e diluídos, sendo muitos deles altamente contaminantes.

Segundo Ehrig (1992): “a água pode penetrar no aterro por precipitação, por processos bioquímicos e pela própria umidade do resíduo fresco. A umidade própria é de 20-30% do peso. Nos processos bioquímicos só se produz água quando estes são aeróbios. No aterro predominam os processos anaeróbios, os quais consomem água. A fonte principal de água é, pois, a chuva.”

Além de transformações físicas e químicas que ocorrem, o líquido percolado também sofre alterações quantitativas, como descrito anteriormente, e qualitativas. As características dos lixiviados estão intimamente relacionadas com a quantidade produzida, a natureza dos resíduos e a etapa de estabilização em que se encontra (Pineda, 1998).

Quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos, Lo (1996) afirma que “quando a água percola através de pontos controlados arrasta os materiais orgânicos e inorgânicos da decomposição dos resíduos sólidos e transforma-se em líquido percolado. Uma vez que a composição dos resíduos sólidos e condições locais são diferentes de local para local, a composição do líquido percolado varia da mesma forma.”

A transformação biológica dos resíduos aterrados contribui significativamente nas características do líquido percolado gerado. Uma célula de aterramento configura-se como um reator biológico onde diversas reações bioquímicas ocorrem simultaneamente.

O processo de degradação biológica dos resíduos, no geral, pode ser dividido em duas fases (aeróbia ou hidrolítica e anaeróbia - acetogênica e metanogênica) na decomposição dos resíduos sólidos (Pfeffer, 1992). Nos itens posteriores as fases serão descritas.

Por fim, a decomposição dos resíduos em um aterro ocorre principalmente devido aos processos microbiológicos. A produção de gás em aterro e líquido percolado estão principalmente ligados a atividade dos microrganismos (Sênior, 1995).

As condições predominantes do meio, quanto aos resíduos imergidos em uma fase aquosa ou mais ou menos saturadas em água podem favorecer o desenvolvimento e a multiplicação de microrganismos adaptados a esse ambiente, encontrando os substratos que lhes são necessários (Barres et al., 1995). Os efeitos da atividade microbiológica para sistemas de aterramento de resíduos sólidos são apresentados no Quadro 3.1.

QUADRO 3.1 – Efeitos da atividade microbiológica para sistemas de aterramento de resíduos sólidos (Fonte: Barres et al, 1995).

TIPOS DE EFEITOS	NATUREZA DOS EFEITOS
Efeitos Diretos	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de metabólitos solúveis: minerais e orgânicos. - Geração de metabólitos gasosos; - Produção de biomassa em excesso.
Efeitos Indiretos	<ul style="list-style-type: none"> - Efeitos sobre as condições do meio: pH, óxido-redução, temperatura e influência dessas condições do meio sobre: a solubilização da matéria sólida, precipitação de espécies dissolvidas. - Reações químicas e físico-químicas dos metabólitos com os resíduos e seus produtos.

3.2.4 Fase aeróbia ou hidrolítica

Após aterrar o resíduo se iniciam os processos aeróbios, que duram um período de uns poucos dias a semanas até que seja consumido todo o oxigênio que a carga continha (Ehrig, 1992). Lo (1996) sugere que “a decomposição aeróbia utiliza rapidamente o oxigênio presente no resíduo aterrado durante esta primeira etapa, a qual é tipicamente menor do que um mês. Em depósitos pouco profundos (<3 metros) de resíduos ou quando o ar é bombeado no interior dos resíduos um período maior pode ser possível.”

Segundo Barres et al. (1985) “a matéria orgânica sólida e submetida a ação de enzimas extra-celulares proteolíticas, celulolíticas, lipolíticas, etc, secretadas pelos microrganismos que degradam as grandes moléculas insolúveis em moléculas de menor tamanho, solúveis, podendo posteriormente servir de substrato a esses organismos.”

A etapa hidrolítica é indispensável para obter-se a quebra de polímeros complexos a polímeros solúveis ou monômeros devido aos microrganismos das próximas etapas somente poderem assimilar matéria orgânica dissolvida (Pineda, 1998). Barbosa et al. (1999) afirma que “essas reações ocorrem a medida em que verifica-se uma queda do potencial de oxirredução e o surgimento de ácidos carboxílicos.”

3.2.5. Fase Fermentativa

Nesta etapa as moléculas geradas na primeira fase são transformadas em compostos de baixo peso molecular através de diferentes vias metabólicas dos organismos anaeróbios. A Figura 3.3 apresenta um esquema com as rotas de transformação dos compostos orgânicos.

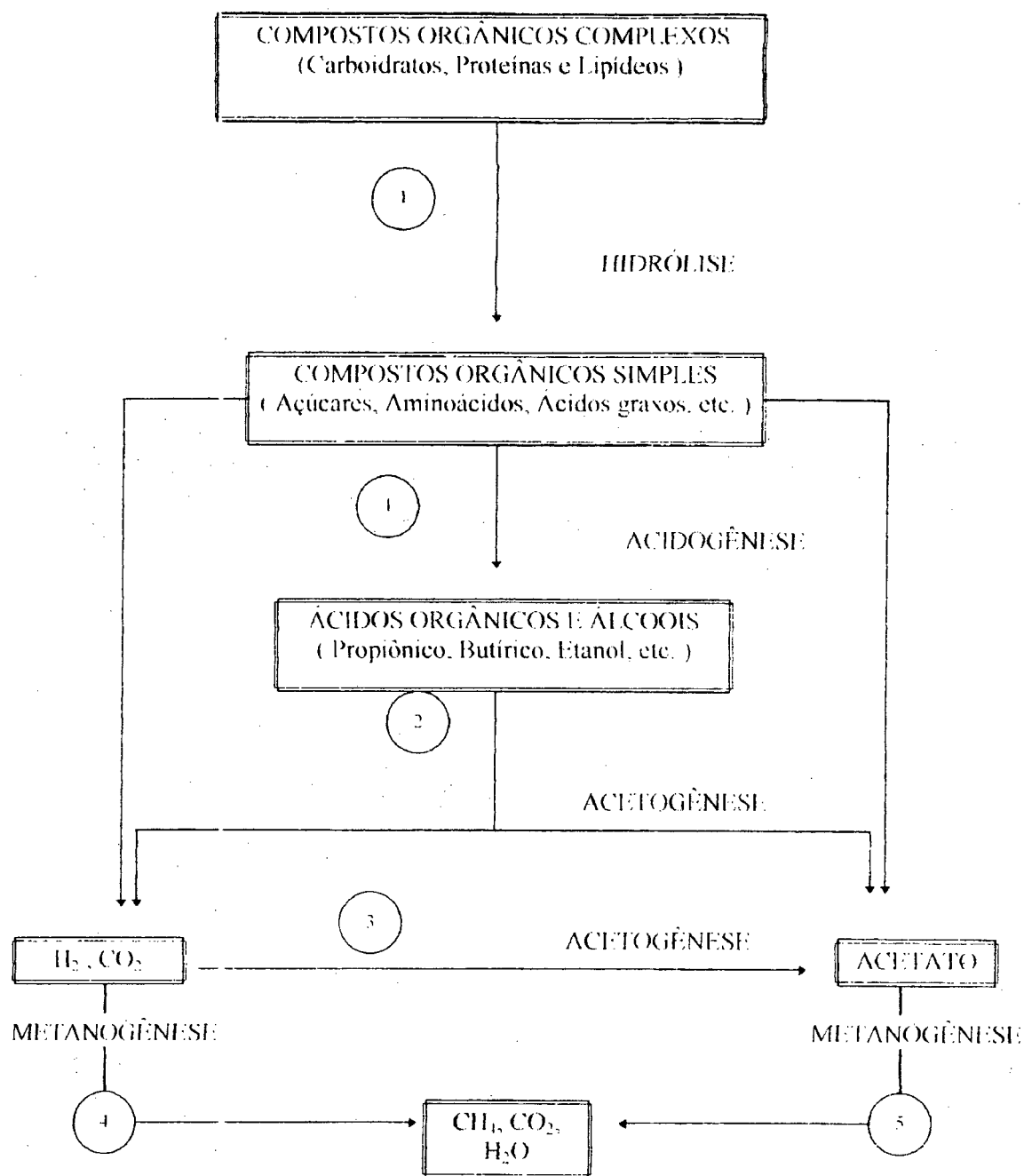


FIGURA 3.3 – Diagrama das etapas de degradação e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Fonte: Novaes, 1986).

1. Bactérias fermentativas hidrolíticas;
2. Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio;
3. Bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio;
4. Bactérias metanogênicas redutoras de dióxido de carbono;
5. Bactérias metanogênicas que descarboxilam o acetato.

- Fase Acetogênica

Nesta fase, a matéria orgânica complexa é biodegradada a matéria orgânica simples, como ácido acético, propiônico, pirúvico, alcóois e ácidos orgânicos simples.

O líquido percolado produzido neste período é caracterizado por valores elevados de DBO (geralmente $> 10 \text{ g.L}^{-1}$) e uma elevada razão de DBO/DQO (comumente $> 0,7$). Isto indica que uma elevada proporção de materiais orgânicos solúveis é prontamente degradável (Lo, 1996).

Na fase acetogênica, atuam dois tipos diferentes de microrganismos que produzem acetato: bactérias homoacetogênicas e bactérias acetogênicas (Pineda, 1998).

Como observado na Figura 3.3, os produtos resultantes desta etapa são dióxido de carbono e hidrogênio e o nitrogênio diminui consideravelmente.

- Fase Metanogênica

Gradualmente bactérias metanogênicas de crescimento lento são estabelecidas. Diferentes tipos de bactérias atuam neste momento de degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos, sendo elas bactérias: metanogênicas hidrogenofílicas, metanogênicas metanofílicas e sulforedutoras. Neste estágio, o aterro é mais ativo biologicamente. Um equilíbrio dinâmico é estabelecido entre bactérias acetogênicas e metanogênicas, com os resíduos continuando a serem ativamente decompostos (Lo, 1996).

A microflora metanogênica está representada por metanobactérias que atuam dentro de uma faixa mesofílica, sendo as espécies dos gêneros *Metanosarcina* e *Metanobacterium* (Pineda, 1998).

Lo (1996) afirma que “o líquido percolado produzido nesta fase é usualmente caracterizado por um valor de DBO relativamente baixo e uma razão DBO/DQO baixa.”

O nitrogênio amoniacal no líquido percolado, ainda liberado no primeiro estágio do processo acetogênico, está presente em níveis elevados (Robinson, 1989). Substâncias inorgânicas tais como ferro, sódio, potássio, sulfato e cloreto dissolvem continuamente e lixiviam do aterro por muitos anos.

Observando-se a Figura 3.3 constata-se que os compostos orgânicos simples gerados pelo processo acetogênico contínuo começam a ser consumidos.

O gás do aterro é produzido até que o resíduo aterrado seja amplamente decomposto e o oxigênio atmosférico possa difundir-se facilmente no interior do resíduo. Diversos autores assinalam que aproximadamente 70% do metano procede da descarboxilação do ácido acético. A composição do gás gerado nesta fase é usualmente 45% de metano e 40% de dióxido de carbono (Pineda, 1998).

As condições ambientais que também influenciam no desencadeamento das reações são potencial redox mínimo e elevação do pH. Mesmo com elevada produção de biogás, a carga orgânica é bastante baixa. Tais condições conduzem a formação de ácido sulfídrico a partir de sulfato (Barbosa et al., 1999).

3.2.6 Composição do líquido percolado

O líquido percolado, como uma substância química, tem os constituintes da massa de resíduos sólidos através do qual flui, portanto não há um líquido percolado “típico” (Koener & Soong, 2000).

As variações na composição do líquido percolado, as quais são decorrentes do processo biológico de degradação (grau de estabilização) e lixiviação da água na massa de resíduo aterrada, tem sido registrada por um grande número de pesquisadores.

Um dos fatores determinantes da qualidade do líquido percolado é o estágio de fermentação do resíduo. Qasim & Chiang (1994) afirmam que a constituição química do líquido percolado varia com a idade do aterro sanitário.

Desta forma, dependendo da idade e natureza de um aterro em particular, o líquido percolado pode apresentar variação em termos de força e composição (Venkataramani et al., 1984). O autor continua afirmando que “a idade do aterro pode ser relacionada a razões de propriedades químicas, por exemplo, DQO/COT; DBO/COT; SV/SF; SO_4/Cl^- , entre outras”.

A razão DQO/COT reflete as características da matéria orgânica no líquido percolado. Como registrado por Cameron & McDonald (1982), a razão DQO/COT máxima possível é de 4,0 para aterros relativamente jovens e pode ser de menos de 1,16 para aterros antigos. O Quadro 3.2 apresenta as características do líquido percolado com diferentes idades.

QUADRO 3.2 – Evolução temporal das características do líquido percolado (adaptado de Millot, 1986 e Amokrane et al., 1997).

PARÂMETRO	Jovem – Biodegradável <5 anos	Intermediário 5- 10 anos	Antigo – Estabilizado >10 anos
pH	<6,5	6,5 – 7,5	> 7,5
DQO (g.L^{-1})	> 20	3,0 – 15	< 5,0
DQO/COT	< 2,7	2,0 – 2,7	> 2,0
DBO/DQO	< 0,5	0,1 – 0,5	< 0,1
AVG (% COT)	> 70	5 – 30	< 5
Metais	2 g.L^{-1}	-	< 50 mg. L^{-1}

A razão DQO/COT parece ser útil na avaliação da composição da matéria orgânica. A razão DBO/DQO exibe um comportamento similar ao da DQO/COT a respeito da idade do aterro, indicando alterações na biodegradabilidade do líquido percolado (Venkataramani et al., 1984; Ehrig, 1992; Lo, 1996).

Ao contrário, das razões DBO/DQO e DQO/COT, a razão sólidos voláteis totais/sólidos fixos totais (SVT/SFT) parece ser diretamente proporcional a idade do aterro (Venkataramani et al., 1986).

Lo (1996) afirma que “no geral, com a idade do aterro, a concentração dos materiais inorgânicos diminui”.

No que refere-se aos composto inorgânicos pode-se citar a ampla diminuição na razão $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ corresponde ao elevado grau de anaerobiose no aterro e do decaimento da concentração do sulfato. A tendência na $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ é inversamente relacionada aos valores de potencial óxido-redução (ORP). O impacto mais importante na alteração no $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ou ORP é sob a solubilidade de íons metálicos (Lo, 1996).

Os líquidos percolados são usualmente caracterizados pelos valores baixos de pH, elevadas concentrações de DBO e DQO, amônia, hidrocarbonetos halogenados, entre outros (Ehrig, 1992; Trebouet et al., 2001). Neste sentido, Venkataramani et al. (1984) complementa que “o líquido percolado exibe pouco oxigênio dissolvido, elevado conteúdo de ferro, íons metal pesado e concentrações de substâncias químicas tóxicas”.

Segundo Barbosa et al.(1999) a matéria orgânica é o principal constituinte do chorume. Os compostos orgânicos presentes são muito variados, sendo muito difícil conhecer-se precisamente a natureza de cada um ou do componente como um todo.

Clément et al. (1997) sugere que a amônia, metais pesados (tais como Ag, Hg, Pb, Cd, Mn, Zn, Cu) e compostos orgânicos (tais como lignina e fenol) podem individualmente ou em combinação serem responsáveis pela toxicidade observada em líquido percolado.

Segundo Barbosa et al. (1999), o chorume pode conter quatro diferentes contaminantes potenciais, sendo eles:

- Matéria orgânica dissolvida, inclui compostos orgânicos (substâncias húmicas), metano, ácido graxos voláteis, entre outros. Pode ser medida através dos parâmetros Carbono Orgânico Total (COT) e o consumo de oxigênio dissolvido, resultante da atividade química (Demanda Química de Oxigênio – DQO) ou biológica (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO);
- Compostos orgânicos antrópicos, que são constituídos por hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, compostos alifáticos clorados, entre outros, que apresentam-se em concentrações baixas. Geralmente tais compostos são constituintes tóxicos provenientes, possivelmente, de resíduos industriais;
- Íons Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{++} , Mn^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , entre outros;
- Metais pesados como cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel, zinco, e outros componentes presentes em concentrações relativamente baixas.

No que se refere ao pH do líquido percolado, Barres et al. (1985) afirma que “o pH dos percolados de aterros que recebem resíduos orgânicos é controlado pela presença de metabólitos da fermentação anaeróbia: ácido acético, propiônico, butírico, que são ácidos fracos, enquanto o pH dos lixiviados de aterros que recebem resíduos minerais é muitas vezes determinado pela solubilização de espécies químicas a partir do resíduo”.

O pH tem efeito marcante na solubilização, migração e precipitação de muitos componentes, de modo particular os metais pesados. O pH sofre modificações ao longo do

período de operação do aterro devido as diferentes fases de degradação que ocorrem no processo, em geral o pH que predomina em um aterro jovem é ácido, e com o passar do tempo a tendência é um tamponamento do sistema.

O líquido percolado apresenta uma coloração marrom escura, o que indica a formação de substâncias húmicas e fase metanogênica (Segatto & Silva, 2000). Venkataramani et al. (1984) explica que “a alteração da cor de amarelo claro a marrom escuro é atribuída a oxidação do íon ferroso ao íon férrico, o ultimo forma colóides de hidróxido férrico que contribui para a cor marrom do percolado”.

O líquido percolado também tem apresentado odor desagradável e nauseante causado pela presença de ácidos voláteis livres.

Por fim, Lo (1996) sugere que para avaliar do líquido percolado, as razões DQO/COT e DBO/DQO podem ser usadas para determinar as características de substrato no líquido percolado e sua biodegradabilidade, enquanto parâmetros tais como pH e a razão $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ podem ser usados para determinar o grau de estabilização do aterro. A idade do aterro tem um importante papel nas características do percolado (Venkataramani et al., 1984; Ehrig, 1992).

Neste sentido, será apresentado no capítulo que segue as metodologias utilizadas no estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Características do município onde os dados foram coletados

O Município de Florianópolis localiza-se no litoral do Estado de Santa Catarina, com uma área de 436,5 Km². Geograficamente o município divide-se em duas porções de terra: área continental e a Ilha de Santa Catarina, que situa-se paralela ao continente e é separada deste por um estreito com 500m de largura e uma profundidade de 28 m. O município caracteriza-se por apresentar uma diversidade de ecossistemas: praias, costões, restingas, manguezais e dunas.

Florianópolis possui uma população igual a 341.781 (Censo 2000) e as atividades econômicas são: prestação de serviços e comércio.

O serviço de limpeza pública em Florianópolis é responsabilidade da Companhia de Melhoramentos da Capital – COMCAP, sendo que 90% da população é atendida pela

coleta de lixo. Diariamente são gerados 280 toneladas de resíduos, sendo que no verão a produção eleva-se para 390 ton/dia.

4.2 Aterro Sanitário de Biguacú – Biguacú/SC

O Aterro Sanitário de Biguacú localiza-se no Km 177,6 da BR 101 na localidade de Areias de Cima – Biguacú/SC, sendo operado e administrado pela empresa FORMACCO – CONSTRUÇÕES E COMÉRCIO LTDA.

O aterro encontra-se em operação desde 1991 e recebe resíduos dos municípios de Florianópolis, Biguacú, Governador Celso Ramos, Tijucas, Bombinhas e Itapema, sendo o volume de resíduos sólidos dispostos diariamente de cerca de 350 toneladas. A Figura 4.1 apresenta o lay-out do aterro.

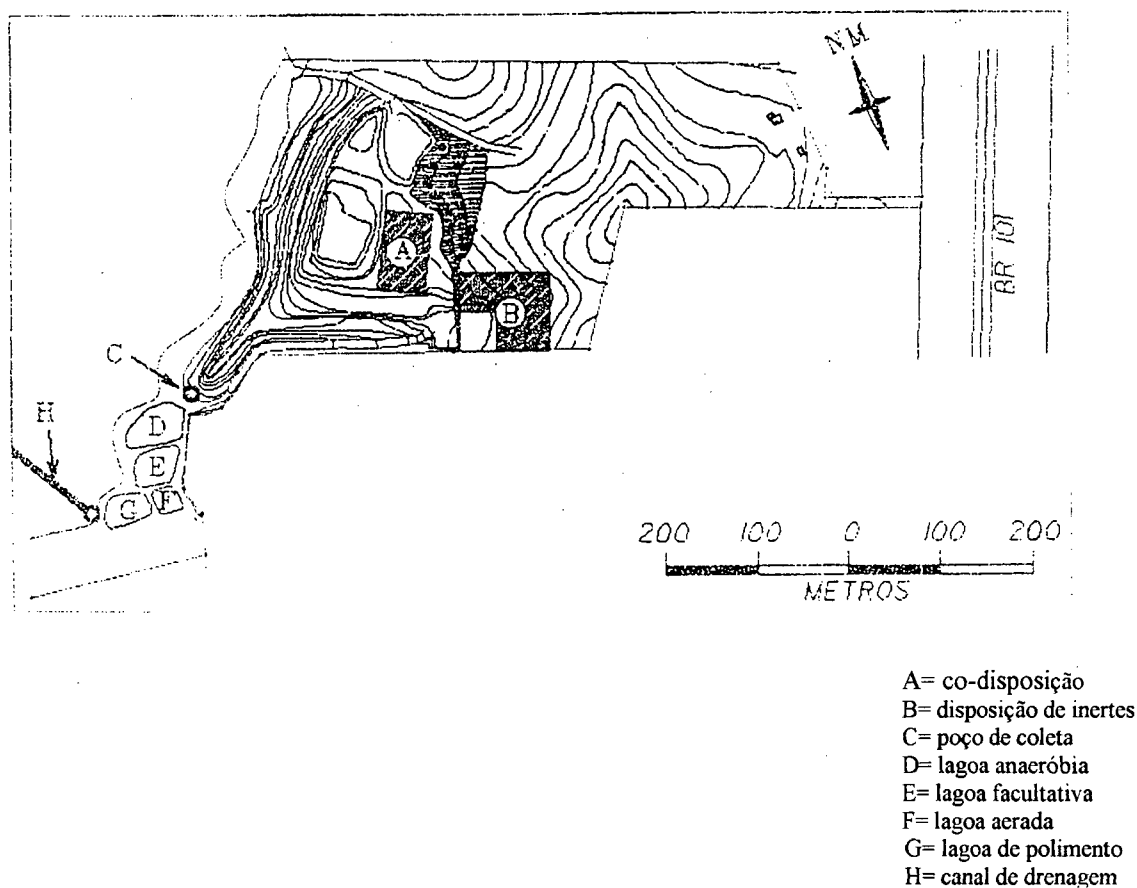


FIGURA 4.1 – Lay-out do Aterro Sanitário de Biguacú.

O Aterro Sanitário de Biguacú recebe resíduos sólidos domésticos, comerciais, industriais e de serviços de saúde. Os resíduos coletados são dispostos em células com 3 a 4 metros de altura, cobertas com terra. Os resíduos de serviços de saúde e inertes são tratados de forma diferenciada dos demais, sendo colocados em áreas isoladas utilizando métodos de co-disposição em valas sépticas.

Os gases gerados são coletados por um sistema de tubulações e posteriormente queimados. O líquido percolado gerado é tratado utilizando um sistema de lagoas de estabilização em série. O sistema é composto por quatro lagoas, sendo a primeira do tipo anaeróbia [área de 85,7 m² e Tempo de Detenção Hidráulico (θ_h) de 20 dias], seguida por uma lagoa facultativa (área de 240 m² e θ_h de 28 dias), lagoa aerada (área de 150 m² e θ_h de 15 dias) e por fim uma lagoa de polimento (área de 100 m² e θ_h de 5 dias). O efluente tratado, antes de ser descartado, passa por um processo de cloração. A vazão final do percolado tratado é de 200 m³.d⁻¹, sendo despejado no rio Inferninho.

4.3 Procedimento de coleta das amostras de líquido percolado

O líquido percolado utilizado no experimento foi coletado na entrada e na saída do sistema de tratamento por lagoas de estabilização.

O líquido percolado bruto foi coletado antes da lagoa de captação, em um poço intermediário, onde se instalou uma torneira para auxiliar no momento da coleta.

O líquido percolado tratado foi coletado na última lagoa (lagoa de maturação), antes do sistema de desinfecção. Desta forma, evitou-se coletar um efluente com elevada concentração de cloro residual, o que poderia interferir nos testes de toxicidade aguda e ensaios de reprodução para o líquido percolado tratado.

As amostras foram transportadas para o Laboratório de Toxicologia Ambiental e preservadas em geladeira a 4°C para posterior determinação das suas características físico-químicas e toxicológicas.

4.4 Parâmetros físico-químicos monitorados

Os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras de líquido percolado bruto e tratado foram:

- a) pH: utilizando o método potenciométrico (pHmetro marca ORION – modelo 210A);
- b) Alcalinidade: utilizando o método titulométrico-potenciométrico;
- c) Demanda Química de Oxigênio(DQO): seguindo o método de refluxo aberto;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): BOD Trak marca HACH;
- e) Nitrogênio Total: método Kjeldahl;
- f) Nitrogênio Amoniacal: método de destilação e titulação;
- g) Nitrito: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- h) Nitrato: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- i) Fosfato: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- j) Fluoreto: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- k) Cloreto: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- l) Sulfato: (cromatografia iônica Dionex – DX 120);
- m) Sólidos Totais, Voláteis e Fixos: método gravimétrico;
- n) Sólidos Suspensos Totais: método gravimétrico e
- o) Sólidos Dissolvidos Totais: método gravimétrico.

A metodologia utilizada encontra-se descrita no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 1995).

4.5 Bioensaios com microcrustáceo *Daphnia magna*

O reativo biológico *Daphnia magna* Straus, 1820 (Crustacea, Phyllopoda) é cultivado no Laboratório de Toxicologia Ambiental – ENS/UFSC.

4.5.1. Cultivo do microcrustáceo *Daphnia magna*

As culturas de *D.magna* foram mantidas em incubadora mantendo-se temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, luminosidade em torno de 2000 lux e fotoperíodo de 16 horas claro: 8 horas escuro, conforme recomendado pela norma DIN (1989) e CETESB (1986).

Os organismos foram cultivados em aquários com capacidade para 400ml, sendo mantidos com água de cultivo. A manutenção foi realizada através da transferência, por sifonamento com tubo de vidro, dos organismos para aquários onde as algas, carapaças e organismos mortos removidos. Durante este procedimento, retirou-se o excesso de organismos jovens, mantendo-se uma população em torno de 15 indivíduos em diferentes estágios do ciclo de vida. Também, observou-se a ocorrência de efípios, caso os mesmos surgissem, a cultura era descartada.

Após seleção e limpeza dos aquários, *D. magna* era alimentada com uma cultura de algas verdes *Scenedesmus subspicatus*.

4.5.2 Cultivo de algas *Scenedesmus subspicatus*

As algas verdes *Scenedesmus subspicatus* são mantidas de forma diferenciada para diferentes finalidades. A parcela de cultivo de algas para alimentação de *D.magna* é

mantida em frascos não esterilizados de 500ml, enquanto um volume menor da solução de algas é reservado e mantido em frascos esterilizados para posterior cultivo. Ambos frascos são guardados em geladeira a uma temperatura de 4°C.

Para o cultivo de algas deve-se preparar uma solução (meio CHU), o qual contém nutrientes, sais minerais e vitaminas. As soluções estoque utilizadas para o preparo do meio CHU encontram-se descritas no trabalho de Frello (1998).

O meio CHU pode ser preparado no próprio fermentador, o qual deve ser fechado com tubos de silicone e pinças apropriadas. Todo material a ser utilizado (fermentador e frascos) devem ser autoclavados por 20 minutos a uma temperatura de 120°C.

Após este procedimento, inoculam-se as algas no fermentador com meio CHU, observando técnicas adequadas para o controle de possíveis contaminações. O fermentador, já inoculado, é conectado ao suprimento de ar (filtro de ar coalescente Schrader Bellows-Parker) e mantido a uma temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 0,2$ e luminosidade de cerca de 2000 lux.

A fermentação dura cerca de 7 dias, decorrido este período separam-se volumes da solução de algas, conforme descrito anteriormente.

Para controle quantitativo das algas produzidas durante a fermentação, faz-se a contagem das mesmas em Câmara de Neubauer. Durante a execução dos ensaios a variação quantitativas das algas *Scenedesmus subspicatus* foi de $24,25 \cdot 10^5$ a $35,88 \cdot 10^5$ cél.ml⁻¹.

4.5.3 Teste de sensibilidade com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

Com a finalidade de determinar a sensibilidade do reativo biológico, avaliou-se a imobilidade de *D.magna* com uma substância de referência, no caso dicromato de potássio

(K₂Cr₂O₇). Para tanto preparou-se uma solução mãe de K₂Cr₂O₇ com concentração de 10 mg.L⁻¹, desta transferiu-se volumes determinados para balões volumétricos de 50 ml com a finalidade de obter-se as seguintes concentrações: 0,7; 0,9; 1,10; 1,30; 1,50 e 1,70 mg.L⁻¹ de K₂Cr₂O₇.

Transferiu-se 20ml de cada diluição preparada para tubos de ensaio, onde adicionou-se 5 daphnias jovens (idade entre 6 a 24 horas). Este procedimento foi feito em duplicata, assim para cada concentração observou-se a imobilidade de 10 indivíduos após um período de exposição de 24 horas, sem alimentação e luminosidade e temperatura de 20 ± 2°C, conforme sugerido pela norma da CETESB (1986) para *Daphnia similis*.

A partir dos dados de imobilidade do reativo biológico calculou-se a CE₅₀ utilizando “Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays” (Hamilton et al, 1978). A CE₅₀ é a expressão matemática da dose ou concentração da substância/efluente que provoca a morte a 50% da população exposta.

A análise estatística dos resultados foi realizada através da análise da variância ANOVA.

4.5.4 Procedimento para os testes de toxicidade aguda

Inicialmente, para avaliar a toxicidade aguda de líquido percolado bruto e tratado, observou-se os resultados dos ensaios realizados por Da Luz (1998), os quais contribuíram para a determinação das concentrações dos efluentes que seriam testados.

Assim, para líquido percolado bruto, as seis concentrações utilizadas em todos os onze ensaios foram: 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10%. Já, para líquido percolado tratado as seguintes diluições foram avaliadas: 10; 20; 40; 60; 80 e 100%. Além destas, para todos os

bioensaios manteve-se um controle com meio teste, realizando para cada ensaio sua respectiva duplicata.

As diluições dos efluentes foram realizadas em tubos de ensaio de 20 ml, onde adicionou-se 5 daphnias jovens (idade entre 6 e 24 horas). Para cada concentração observou-se a imobilidade de 10 indivíduos após um período de exposição de 24 e 48 horas, sem alimentação e luminosidade e temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, conforme sugerido pela norma da CETESB (1986) para *Daphnia similis*.

A partir dos dados de imobilidade do reativo biológico calculou-se a CE_{50} utilizando “Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays” (Hamilton et al, 1978). A análise estatística dos resultados foi realizada através da análise da variância ANOVA.

4.5.5 Ensaios de reprodução preliminares

Nesta primeira série de ensaios toxicológicos pretende-se avaliar as concentrações de líquido percolado onde não há ou haja uma pequena mortalidade de *D.magna* submetida ao teste de reprodução preliminar. Assim, constatando-se as concentrações onde há sobrevivência dos organismos pode-se avaliar as possíveis alterações na progênie dos parentais expostos ao líquido percolado.

Para tanto, avaliou-se diferentes concentrações do efluente, sendo que estas foram determinadas levando-se em consideração os resultados dos testes de toxicidade aguda realizados anteriormente. Para o líquido percolado bruto, obteve-se os seguintes resultados para a CE_{50} (48 horas): 8,84%; 4,17%; 6,35% e 4,58%. Assim, testou-se uma concentração próxima a obtida na CE_{50} (48h), duas concentrações intermediárias e uma muito abaixo do valor de toxicidade aguda obtido.

Para o líquido percolado tratado, como não verificou-se toxicidade aguda em nenhum dos ensaios realizados para as quatro coletas realizadas, testou-se o efluente puro e com diluições baixas..

O início desta bateria de teste ocorreu após a quarta coleta de líquido percolado. As concentrações testadas para chorume bruto e tratado encontram-se no Quadro 4.1.

QUADRO 4.1 - Concentrações de líquido percolado bruto e tratado utilizadas nos ensaios de reprodução preliminares.

LÍQUIDO PERCOLADO BRUTO	LÍQUIDO PERCOLADO TRATADO
1,5%; 2,5%; 3,5%; 4,5%; 5,0%	80%; 90%, 100%

Preparadas as diluições, duas daphnias jovens (menos de 24h de vida) foram contaminadas com o agente tóxico, monitorando-as diariamente. Os organismos foram alimentados com 0,5 ml da solução de cultura de algas *Scenedesmus subspicatus* três vezes por semana (segundas, quartas e sextas).

Os parâmetros monitorados para cada daphnia em teste foram:

- a) Longevidade;
- b) Tempo para a primeira progênie;
- c) Número total de filhotes e
- d) Número de progênies.

4.5.6 Ensaios de reprodução definitivos

Nos ensaios de reprodução definitivos, no primeiro momento do bioensaio, o procedimento foi o mesmo que o adotado nos ensaios preliminares. Assim, resumidamente,

as daphnias (F_0) foram contaminadas com o agente tóxico (líquido percolado bruto e tratado), em diferentes concentrações, alimentadas com 0,5 ml de uma solução de *Scenedesmus subspicatus* e monitoradas diariamente. As diluições adotadas encontram-se no Quadro 4.2.

QUADRO 4.2 - Concentrações de líquido percolado bruto e tratado utilizadas nos ensaios de reprodução definitivos.

LÍQUIDO PERCOLADO BRUTO	LÍQUIDO PERCOLADO TRATADO
0,5%; 0,75%; 1,0%	80%; 90%, 100%

Os parâmetros de ciclo biológico monitoradas foram:

- a) Longevidade;
- b) Tempo para a primeira progênie;
- c) Número de indivíduos gerados na primeira progênie;
- d) Número total de filhotes;
- e) Número de progênies e
- f) Tamanho corpóreo.

O crescimento dos adultos sobreviventes de cada tratamento foi determinado após 21 dias de exposição. O tamanho corpóreo de cada animal sobrevivente (mm) foi medido a partir da extremidade da cabeça a base da espinha, com auxílio de lupa.

A partir da primeira progênie de cada parental exposto ao agente tóxico (F_0), selecionou-se duas daphnias (com menos de 24 horas de vida – F_1) que foram transferidas a copos de plástico de 150 ml com meio isento de líquido percolado. A este foi adicionado

1 ml de alimento inicialmente, após foi adotado o mesmo procedimento de alimentação que o dos parentais. Os parâmetros de ciclo de vida acompanhados foram os seguintes:

- a) Longevidade;
- b) Tempo para a primeira progênie;
- c) Número de indivíduos gerados na primeira progênie;
- d) Número total de filhotes e
- e) Número de progênies.

A análise estatística dos resultados obtidos nos ensaios de reprodução para F_0 e F_1 foi realizada através da análise da variância ANOVA e confirmado pelo Teste de Tukey. Enquanto que para a análise estatística das relações propostas entre os parâmetros de ciclo de vida utilizou-se Regressão Linear.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do líquido percolado

As características qualitativas do líquido percolado são conferidas por substâncias orgânicas, cuja determinação é feita através de parâmetros como DBO, DQO, COT; compostos nitrogenados, NO_3^- , NH_4^+ ; e substâncias inorgânicas halogenadas como HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , entre outras.

A Tabela 5.1 apresenta os valores médios obtidos para os parâmetros monitorados no período de março a julho de 2001 para o sistema de tratamento de líquido percolado em um aterro sanitário em operação. Os resultados das análises físico-químicas realizadas para cada coleta encontram-se no Anexo I.

TABELA 5.1 – Concentrações médias encontradas para os parâmetros físico-químicos monitorados para líquido percolado bruto e tratado.

PARÂMETRO	Percolado Bruto	Percolado Tratado
DQO (mg.L ⁻¹)	30.346	140
DBO (mg.L ⁻¹)	3.824	5
pH	7,55	7,17
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	1.776	5
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	1.324	3
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0	0
Nitrato (mg.L ⁻¹)	38	1
Fosfato (mg.L ⁻¹)	0	0
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	562	0,38
Cloreto (mg.L ⁻¹)	3.709	20
Sulfato (mg.L ⁻¹)	70	3
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	7.726	28
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	13.491	752
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	4.948	668
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	8.524	84
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	1.319	74
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	12.172	678

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 são a média aritmética dos dados obtidos ao longo de 11 amostragens. Os parâmetros nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloretos e fluoreto foram monitorados durante as primeiras seis amostragens, nas demais coletas não foi possível a determinação dos mesmos devido problemas técnicos com o equipamento Dionex – DX 120.

Para o parâmetro alcalinidade, apresentou-se a média de sete coletas realizadas, pois nas primeiras amostragens não realizou-se o monitoramento do referido parâmetro. Os resultados obtidos em cada coleta encontram-se no Anexo I.

Pode-se constatar, através da análise da Tabela 5.1, que os valores dos parâmetros físico-químicos monitorados encontram-se extremamente elevados. A carga orgânica e

inorgânica, expressa em termos de Demanda Química de Oxigênio, apresentou uma concentração média de 30.346 mg.L⁻¹.

As concentrações obtidas na determinação da DQO do percolado bruto variaram de 2.800 a 92.000 mg.L⁻¹ (ver Anexo I), o que demonstra uma grande amplitude de concentrações durante o período de amostragem. Assim, obteve-se elevadas concentrações nas primeiras amostragens, seguidas por valores significativamente mais baixos. Possivelmente, a elevada concentração de matéria orgânica constatada nos primeiros meses de amostragens e o decréscimo na mesma ao longo do tempo é decorrente de fenômenos semelhantes aos dos aterros de Hong Kong (Lo, 1996): tempo relativamente quente, elevada quantidade de resíduos orgânicos prontamente degradáveis (em virtude da temporada de veraneio) e elevada mistura de compostos orgânicos dissolvidos no líquido percolado que aceleram a decomposição microbiana.

Analisando-se conjuntamente os resultados obtidos para DQO e DBO, ambos apresentam uma grande variação. Observa-se que a DBO foi cerca de 10% do valor da DQO. Esse dado sugere uma quantidade significativa de material inerte biologicamente (não biodegradável), como indicado pela baixa razão DBO/DQO (Tabela 5.1). O mesmo foi verificado em aterros de Hong Kong onde houve uma ampla diferença entre os valores de DBO e DQO (Lo, 1996)

Segundo Ehrig (1992) “a razão DBO/DQO reflete o grau de degradação dos lixiviados no aterro e com isto os processos de reação bioquímica que estão acontecendo em um determinado momento.” Ainda, a razão DBO/DQO apresenta a mesma tendência que a razão DQO/COT (Lo, 1996).

A relação DBO/DQO encontrada para o líquido percolado do Aterro de Biguaçu, durante o período de amostragem, foi de 0,13 (Tabela 5.1). Tal valor, segundo Ehrig (1992), indica que substâncias orgânicas têm dificuldade para continuar sua degradação.

Pela análise dos dados obtidos na determinação dos parâmetros DQO e DBO sugere-se que o líquido percolado bruto foi gerado em um aterro sanitário jovem (biodegradável), conforme indicado por Millot (1986); Amokrane et al. (1997) e Clareto (1997). Assim, pode-se dizer que o aterro estudado, encontra-se na fase de fermentação metanogênica. Lo (1996) também afirma que “o líquido percolado produzido nesta fase é usualmente caracterizado por um valor de DBO relativamente baixo e uma razão DBO/DQO baixa.”

Segundo Robinson (1989) a relação DBO/DQO assume valores superiores a 0,4 na fase ácida e igual ou inferiores a 0,4 na fase metanogênica. Russo & Viera (2000) afirmam que a razão DBO/DQO para aterros antigos é inferior a 0,2, sendo comum o intervalo 0,05 a 0,2. Os autores ainda afirmam que esses valores referem-se a “existência de ácido fúlvico e húmico, que são de lenta biodegradabilidade, requerendo tratamento diferenciado.”

Da mesma forma que para o Aterro de Biguaçu, verificou-se no Aterro de São Giacomo – Caxias do Sul/RS que o líquido percolado da célula de aterramento C1 (onde resíduos mais antigos foram depositados) uma relação DBO/DQO abaixo de 0,4 (Arruda et al., 1995).

Analisando-se os dados obtidos para o líquido percolado tratado, observa-se que a relação DBO/DQO obtida foi igual a 0,04, desta forma sugerindo que praticamente toda a matéria orgânica biodegradável foi consumida pela microbiota presente nas lagoas. Assim sugerindo que a parcela de carga orgânica restante é constituída por matéria refratária.

Garcia Junior et al. (1995) em seus estudos de tratamento de líquido percolado com

lagoas aeradas observaram um comportamento semelhante. Os autores constataram que o líquido percolado tratado por reatores pilotos apresentava concentração elevada de materiais pouco biodegradáveis.

A Tabela 5.1 apresenta a média da concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do período de amostragem. O valor médio obtido nas onze coletas realizadas foi de 1.324,40 mgN-NH₃.L⁻¹, variando as concentrações de no mínimo 537,60 e no máximo 1.831,20 mgN-NH₃.L⁻¹ (Anexo I). Valores de nitrogênio amoniacal na ordem de 1.000 mg.L⁻¹ podem acarretar sérios danos a fauna e flora, caso o percolado seja descartado sem tratamento em corpos hídricos, podendo até mesmo levar a uma imediata mortalidade dos peixes existentes em rios.

Os valores observados de nitrogênio amoniacal apresentam-se elevados se comparados com os constatados para esgoto sanitário, que encontram-se na faixa de 8 a 35 mg.L⁻¹ (Russo & Viera, 2000). Devido a problemas técnicos, não foi possível determinar a concentração de nitrogênio total para todas as amostras coletadas, porém optou-se por analisar e comparar com os dados obtidos nos três primeiros ensaios.

Nas três primeiras coletas observou-se que a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 81,25% (respectivamente 76,65%; 86,13% e 80,96%) do valor total de nitrogênio no efluente. Supondo que o mesmo ocorreu com todas as amostras coletadas, é possível indicar que a amônia apresentou valores relativamente altos no líquido percolado gerado no Aterro de Biguaçu.

Tendo-se esta hipótese como verdadeira, pode-se constatar novamente que o líquido percolado foi gerado na fase de degradação metanogênica. Robison (1989), em seus estudos, concluiu que o “nitrogênio amoniacal, no líquido percolado, ainda liberado

no primeiro estágio do processo acetogênico, está presente em níveis elevados na fase metanogênica”.

Analisando-se conjuntamente os dados obtidos para matéria orgânica, expressa em termos DQO e DBO, e as concentrações de nitrogênio constata-se que o líquido percolado é proveniente de um aterro em fase de estabilização. Nesse sentido Knox (1985) afirma que o “lixiviado estabilizado contém concentrações relativamente baixas de material orgânico degradável, mas concentrações elevadas de amônia.”

Também, observando-se os dados apresentados na Tabela 5.1, constata-se uma elevada concentração de sólidos totais, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais, permanecendo todos na ordem de gramas por litro.

A relação STV/STF para o líquido percolado do Aterro de Biguacú, foi igual a 0,58, enquanto a relação STV/ST foi de 0,37. Esses dados sugerem uma baixa proporção de sólidos voláteis, a qual é uma medida indicadora da concentração de matéria orgânica presente no efluente.

Qasim & Chiang (1994), analisando a relação STV/STF, afirma que “há uma diminuição gradual de um valor de 2,0 para aterros jovens a 0,2 para aterros antigos.” Desta forma constatando que o líquido percolado proveniente do Aterro de Biguacú foi gerado da decomposição de resíduos aterrados em fase de estabilização.

Para a relação $\text{SO}_4^-/\text{Cl}^-$ obteve-se um valor de 0,02. Esta relação é indicadora das condições de anaerobiose no aterramento de resíduos. Segundo Qasim e Chiang (1994) “...a diminuição na concentração de SO_4^- como resultado das condições anaeróbias prevalecendo no aterro no qual o SO_4^- é reduzido a S^- . O último é precipitado com o íon ferro e outros metais pesados. A tendência na razão $\text{SO}_4^-/\text{Cl}^-$ é inversamente relacionada ao parâmetro ORP (potencial de óxido-redução).”

Analisando-se os dados apresentados por Qasim & Chiang (1994) e comparando-os com os dados obtidos no presente trabalho, é possível afirmar que o líquido percolado estudado é proveniente de células de aterramento com mais de cinco anos de degradação.

Vale salientar que o processo de degradação dos resíduos aterrados é dinâmico, sofrendo influências de fatores ambientais e operacionais, e que um aterro não apresenta uma idade única. Porém, a caracterização do líquido percolado gerado em aterros sanitários é um subsídio importante para implantar, operar e otimizar sistemas de tratamento para este tipo de água residuária peculiar.

5.2 Teste de sensibilidade com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$)

Com o objetivo de testar a sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna*, avaliou-se a mobilidade do organismo quando exposto a substância de referência dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), conforme sugerido pela norma DIN (1989). A Figura 5.1 apresenta os resultados obtidos para as repetições dos ensaios que utilizaram as concentrações 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 e 1,7 mg.L⁻¹ de uma solução mãe de $K_2Cr_2O_7$.

Pode-se observar na Figura 5.1 que a partir da concentração de 1,3 mg.L⁻¹ de $K_2Cr_2O_7$, a maioria das daphnias expostas ao agente tóxico encontraram-se imóveis em um período de exposição de 24 horas. Essa constatação só não é válida para o ensaio 7. Abaixo da concentração citada somente em algumas ensaios houve 100% de imobilidade do reativo biológico e acima da concentração de 1,3 mg.L⁻¹ de $K_2Cr_2O_7$ as daphnias apresentaram-se imóveis.

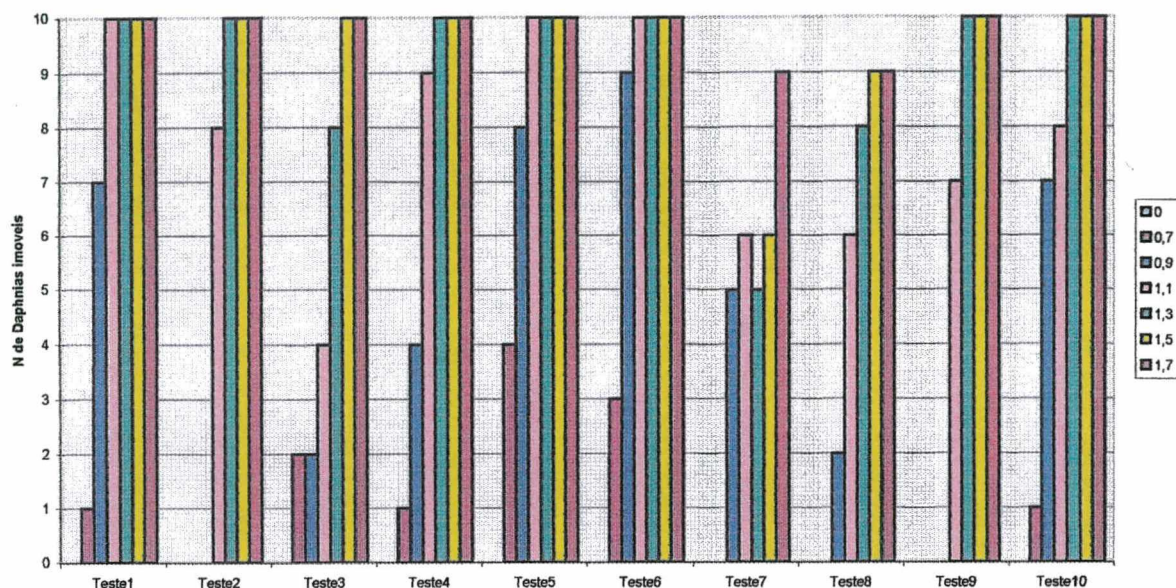


FIGURA 5.1 – Número de daphnias imóveis observadas nas diferentes concentrações testadas nos ensaios de sensibilidade.

Durante a execução dos ensaios, monitorou-se a água de diluição utilizada, acompanhando-se os parâmetros sugeridos pela norma DIN (1989): dureza, pH e oxigênio dissolvido. A Tabela 5.2 apresenta os resultados das análises realizadas na água de diluição utilizada nos testes de sensibilidade e de toxicidade aguda com *Daphnia magna*.

TABELA 5.2 – Resultados obtidos no acompanhamento dos parâmetros físico-químicos da água de diluição utilizada nos ensaios de sensibilidade e toxicidade aguda.

PARÂMETRO	RESULTADO
Dureza (mg.L ⁻¹)	262,20
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,92
pH	7,89
Temperatura (°C)	22,9

A norma DIN (1989) recomenda que o meio deve apresentar uma dureza de $250 \pm 25 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 , pH de 7,6 a 8 e oxigênio dissolvido acima de 60% de saturação, para que o organismo se mantenha vivo por um período de 48 horas sem alimentação. Assim a água de diluição utilizada nos ensaios encontrava-se na faixa recomendada pela norma.

A Tabela 5.3 apresenta os valores obtidos para a concentração efetiva (CE_{50}) para os testes de sensibilidade realizados.

TABELA 5.3 – Valores obtidos de Concentração Efetiva (CE_{50}), expressa em mg.L^{-1} de dicromato de potássio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, para o reativo biológico *Daphnia magna*.

Número do Teste	CE_{50}
1	0,83
2	1,03
3	1,12
4	0,91
5	0,75
6	0,76
7	1,10
8	1,06
9	1,05
10	0,85
Média	0,946
Desvio Padrão	0,142
Coefficiente de Variação	0,150

Observando a Tabela 5.3 pode-se constatar que os testes 7, 8 e 9 apresentam valores bastante próximos para a CE_{50} , o que demonstra uma estabilidade na sensibilidade do bioindicador a substância de referência. Frello (1998) obteve resultados semelhantes em seu trabalho.

A média da CE_{50} para os ensaios realizados foi de 0,946, encontrando-se dentro da faixa de sensibilidade (0,9 a 2,0 mg.L⁻¹) sugerida pela norma DIN para a execução de testes de toxicidade com *D.magna*.

No trabalho realizado por Frello (1998), o valor encontrado no teste de sensibilidade foi igual a 0,94 mg.L⁻¹. Assim, constata-se uma tendência dos organismos cultivados no Laboratório de Toxicologia Ambiental – UFSC, de que quando submetidos a avaliação de sensibilidade com a substância de referência K₂Cr₂O₇, apresentar um valor médio próximo ao limite inferior recomendado pela norma DIN.

Os valores do número de daphnias imóveis após 24 horas de exposição a K₂Cr₂O₇ nos diferentes testes realizados foi analisada pela análise da variância ANOVA, a qual permite avaliar a existência de uma diferença significativa entre diferentes médias que estão sendo comparadas. O teste estatístico demonstrou não haver diferenças nos resultados dos ensaios ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Levando-se em consideração tal resultado para as condições de laboratório, o reativo biológico foi considerado apto para ser utilizado nos ensaios precedentes. Os dados obtidos nos testes de sensibilidade com dicromato de potássio, bem como os resultados da análise estatística da variância encontram-se no Anexo II.

5.3 Testes de toxicidade aguda com líquido percolado

As substâncias orgânica e inorgânica, compostos nitrogenados, metais, entre outros conferem ao líquido percolado suas características qualitativas. As reações químicas, físicas e biológicas entre esses elementos também contribuem para a determinação da toxicidade desta água residuária.

A Tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos nos testes de toxicidade aguda 24h e 48h com *Daphnia magna* durante o período de amostragem de março a julho de 2001 para o ponto de coleta: entrada do sistema de tratamento de líquido percolado (chorume bruto). Os dados obtidos para as amostras coletadas encontram-se no Anexo III.

TABELA 5.4 – Resultados obtidos para os ensaios de toxicidade aguda 24h e 48h, (CE₅₀), expressa em mg.L⁻¹, e respectiva Unidade Tóxica (UT) para as amostras de líquido percolado bruto coletadas no Aterro de Biguacú.

COLETA	Toxicidade 24h		Toxicidade 48h	
	EC ₅₀	UT	EC ₅₀	UT
1° Coleta (13.03.01)	10,00%	10,00	8,84%	11,31
2° Coleta (27.03.01)	5,19%	19,27	4,17%	23,98
3° Coleta (03.04.01)	6,79%	14,73	6,35%	15,75
4° Coleta (18.04.01)	6,84%	14,62	4,58%	21,83
5° Coleta (08.05.01)	5,24%	19,08	4,53%	22,08
6° Coleta (22.05.01)	4,40%	22,73	3,73%	26,81
7° Coleta (05.06.01)	10,00%	10,00	10,00%	10,00
8° Coleta (19.06.01)	7,80%	12,82	6,79%	14,73
9° Coleta (03.07.01)	5,14%	19,46	4,58%	21,83
10° Coleta (10.07.01)	3,85%	25,97	3,45%	28,99
11° Coleta (17.07.01)	10,00%	10,00	10,00%	10,00

Observa-se, pela análise da Tabela 5.4., que a variação em termos de toxicidade aguda 24h foi de 3,58% a 10% e após 48h de exposição de *D.magna* ao líquido percolado bruto obteve-se valores de 3,45% a 10%, ao longo do período de amostragem.

Para uma expressão gráfica mais convencional e interpretação dos dados de toxicidade, os valores da CE₅₀ foram convertidos em unidade tóxica (UT), isto é, o inverso da CE₅₀ expresso em porcentagem (%). Assim, observa-se na Tabela 5.4 que para um

período de exposição de 24h obtém-se valores variando de 10 a 25,97 UT e para exposição de 48h de 10 a 28,99 UT.

Da Luz (1998) avaliou a toxicidade do líquido percolado gerado no Aterro de Biguacú utilizando *Poecilia reticulata* como reativo biológico. A toxicidade para o chorume *in natura* (bruto) variou de <5 a 10 mg.L⁻¹, apresentando-se altamente tóxico.

Em ambos estudos, Da Luz (1998) e o presente trabalho, o líquido percolado bruto caracterizou-se por apresentar uma elevada toxicidade mesmo utilizando diferentes bioindicadores.

Cameron (1980) estudou a toxicidade de líquido percolado gerado em aterro e lisímetro, através de bioensaio estático padrão (96h) e bioensaio do oxigênio residual utilizando como bioindicador *Salmo gairdneri*. Os resultados obtidos para chorume proveniente de um sistema de aterramento apresentaram uma variação nos valores de LC₅₀ (96h) de 4,9 a 7,0%, demonstrando a elevada toxicidade do efluente.

Clément et al. (1996) testou o percolado proveniente de 22 aterros com uma bateria de testes de toxicidade convencionais e microbiotestes novos. Os resultados encontrados para as amostras de líquido percolado bruto utilizando bioindicadores com diferentes origens fitogenéticas revelou que muitos percolados eram altamente tóxicos.

Brown et al. (1991) investigou a toxicidade aguda e genética de líquido percolado de aterro municipal. Os resultados dos testes de toxicidade combinados com as análises químicas e associados a avaliação de risco cancerígeno demonstraram que o líquido percolado gerado em aterros onde resíduos residenciais e perigosos são codispostos.

Matias & Creppy (1998), Matias et al. (1999) e Silva (2000) apresentaram metodologias que demonstraram confiabilidade para evidenciar efeitos genotóxicos através da m⁵dc² e micronúcleo e efeitos epigenéticos (lipoperoxidação) evidenciados pela

dosagem de malonaldeído. Assim, estudos semelhantes podem ser desenvolvidos com líquido percolado de aterro sanitário, para verificar os efeitos desse xenobiótico sobre o DNA.

Em resumo, os resultados dos testes de toxicidade para o líquido percolado gerado no Aterro de Biguacú caracteriza-o como um efluente altamente tóxico, assemelha-se com os dados encontrados em experimentos realizados por outros autores (Brown et al., 1991; Clément et al., 1996) e confirma os obtidos por Da Luz (1998) para os ensaios realizados para o chorume gerado no aterro do presente estudo.

Para o líquido percolado tratado no sistema de lagoas em operação no aterro, em todos os ensaios executados, o efluente apresentou-se não tóxico (Anexo III). Da Luz (1998), em seus estudos constatou uma variação na toxicidade do efluente de não tóxico a 74,44 mg.L⁻¹.

No que se refere ao sistema de tratamento de líquido percolado em operação, a eficiência de remoção de toxicidade aguda 24h e 48h foi de 100%. Em estudos realizados anteriormente, a eficiência de remoção de toxicidade foi na ordem de 90% (Da Luz, 1998).

5.4 Avaliação dos ensaios de reprodução preliminares

Para a determinação das concentrações de líquido percolado bruto e tratado a serem utilizadas nos ensaios de reprodução definitivos, realizou-se dois bioensaios, monitorando-se diferentes parâmetros do ciclo de vida das daphnias.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados obtidos nos testes preliminares realizados com o líquido percolado bruto e tratado referente a quarta coleta. Ressalta-se que os valores encontrados para toxicidade aguda no líquido percolado bruto foi igual a CE₅₀ 24h igual a

6,84% e CE_{50} 48h, 4,58%. Enquanto que para o líquido percolado tratado, o mesmo não apresentou-se tóxico.

TABELA 5.5 – Resultados dos parâmetros biológicos acompanhados no primeiro ensaio preliminar.

Amostra	Longevidade (d)	Primeira Progenie (d)	Nº Filhotes (indivíduos)	Nº Progenie
Controle	21,0	10,0	18,0	3,5
Percolado Bruto (conc.)				
2,5%	14,0	8,0	94,5	3,0
3,5%	9,0	0,0	0,0	0,0
4,5%	3,0	0,0	0,0	0,0
5,0%	2,0	0,0	0,0	0,0
Percolado Tratado (conc.)				
80%	21,0	7,0	66,5	3,5
90%	21,0	7,0	69,5	4,0
100%	8,5	7,0	11,5	1,0

Observa-se na Tabela 5.5, que os organismos controle, durante o período do teste, não apresentaram alterações sobrevivendo os 21 dias do ensaio. Além disso, os organismos reproduziram-se normalmente como esperado.

Quando os organismos foram submetidos ao líquido percolado, nas concentrações 2,5%, 3,5%, 4,5% e 5% observa-se uma diminuição no tempo de vida dos mesmos igual a 14, 9, 3 e 2 dias respectivamente.

A Tabela 5.6 apresenta os resultados obtidos no monitoramento das daphnias ao longo dos 21 dias do experimento quando contaminadas com líquido percolado bruto e tratado.

TABELA 5.6 – Resultados dos parâmetros biológicos acompanhados no segundo ensaio preliminar.

Amostra	Longevidade (d)	Primeira Progênie (d)	Nº Filhotes (indivíduos)	Nº Progênie
Controle	21,0	9,0	44,0	4,0
Percolado Bruto (conc.)				
2,5%	8,0	0,0	0,0	0,0
3,5%	7,5	0,0	0,0	0,0
4,5%	13,0	0,0	0,0	0,0
5,0%	6,0	0,0	0,0	0,0
Percolado Tratado (conc.)				
80%	21,0	6,5	96,0	4,5
90%	21,0	6,0	83,0	6,0
100%	21,0	8,5	90,0	4,5

Constatou-se, pela análise da Tabela 5.6, que a longevidade das daphnias foi alterada, quando contaminada com líquido percolado bruto. Assim, quanto mais elevada a concentração testada, menor o tempo de vida do organismo teste. O mesmo foi constatado pelos resultados apresentados na Tabela 5.6.

Ressalta-se que nos dois ensaios preliminares, o líquido percolado bruto apresentou uma DQO média de 50.281 mg.L⁻¹ e DBO média igual a 3.393 mg.L⁻¹, enquanto o líquido percolado tratado, uma DQO de 57 mg.L⁻¹ e DBO de 3,30 mg.L⁻¹.

Os resultados obtidos nos ensaios preliminares demonstraram que quanto menor a concentração de líquido percolado a que são submetidos os indivíduos, maior o tempo de sobrevivência.

Fato esperado, pois o aumento da concentração do composto tóxico alterou o metabolismo dos organismos expostos de maneira crônica induzindo a morte precoce dos reativos biológicos às concentrações elevadas. Nesta exposição, a célula foi submetida a

dois processos: o catabolismo e o anabolismo. As reações químicas complexas que se efetuam ao curso dessas operações liberam a energia necessária a vida celular.

Desde que haja harmonia entre o anabolismo e o catabolismo, a vida continuará, e o equilíbrio vital que pode-se relacionar matematicamente a uma constante biológica será a relação desses dois fatores. Afirma-se que haverá vida celular, portanto vida do organismo, tanto quanto esta constante oscilar nos limites funcionais, mais o valor desta constante se aproxima do limite de tolerância máxima, mais a vida celular será comprometida.

Apesar de não saber o que causou a morte precoce dos organismos, pode-se constatar que houve um aumento no valor da constante com o aumento da concentração do xenobiótico.

Para os parâmetros de ciclo de vida monitorados: tempo para primeira progênie, número total de indivíduos e número de progênies, observou-se que para os indivíduos submetidos a concentração de 2,5% de líquido percolado há a eclosão de uma grande quantidade de filhotes sugerindo uma alteração na reprodução de *D.magna*.

Para as demais concentrações (3,5%, 4,5% e 5%) de líquido percolado bruto, os indivíduos não sobreviveram o tempo suficiente para eclodirem filhotes.

Os organismos submetidos a diferentes concentrações de líquido percolado tratado (80% e 90%) não apresentaram modificações quanto ao tempo de sobrevivência. Porém, quando *D.magna* foi exposta a líquido percolado tratado sem diluição (100%) teve seu tempo de vida limitado a cerca de 1/3 do período de monitoramento dos ensaios de reprodução (21 dias).

5.5 Avaliação dos ensaios de reprodução definitivos

5.5.1 Análise dos resultados – líquido percolado bruto

Determinadas as concentrações de líquido percolado bruto e tratado a serem adotadas nos ensaios de reprodução, iniciou-se a contaminação das daphnias, monitorando-se diferentes parâmetros do ciclo de vida para as mesmas.

A Tabela 5.7 apresenta a síntese dos resultados obtidos para os três ensaios realizados com daphnias contaminadas com líquido percolado bruto. No Anexo IV encontram-se os resultados de cada ensaio executado.

TABELA 5.7 – Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com *Daphnia magna* (F₀) contaminada com líquido percolado bruto.

Concentração	Primeira Progenie (dias)	Nº Fil. Pm. Prog. (ind.)	Nº Prog.	Nº Fil. (ind.)	Longevidade (dias)	Tamanho Corpóreo (mm)
Controle	7,73	1,87	1,93	5,33	21	2,26
Percolado						
0,50%	8,30	10,33	4,33	73,87	18,39	3,08
0,75%	8,49	10,00	3,67	72,87	18,91	2,98
1,00%	7,78	9,80	3,93	88,67	18,07	3,07

O líquido percolado bruto utilizado como agente tóxico nos três ensaios de reprodução realizados apresentou uma DQO média de 20.256 mg.L⁻¹ e uma DBO média de 5.558 mg.L⁻¹.

Observando-se a Tabela 5.7, constata-se que para todos os parâmetros de ciclo de vida monitorados: dias para primeira progênie, número de filhotes na primeira progênie,

número total de progênes, número total de filhotes e tamanho corpóreo; os resultados obtidos para os organismos controle são inferiores aos encontrados para as daphnias expostas às diferentes concentrações de líquido percolado testadas. Somente para o parâmetro longevidade não observou-se a mesma condição, isto é, os organismos contaminados sobreviveram por um período menor de tempo do que as daphnias controle.

Constatou-se que as daphnias expostas ao agente tóxico nas concentrações 0,50% e 0,75% de líquido percolado bruto demoraram cerca de meio dia a mais para eclodirem os primeiros filhotes, sugerindo que o agente tóxico influencia no tempo de eclosão dos filhotes de *D.magna*. Pela análise ANOVA, comparando-se o controle com as concentrações testadas, obteve-se um nível de significância menor que 0,05%, sendo que os dados para o controle foram significativamente diferentes dos obtidos para as concentrações testadas.

Para os parâmetros número de filhotes na primeira progênie, número total de progênes e numero total de filhotes, observou-se diferenças significativas entre os organismos controle e os contaminados com líquido percolado. Os valores obtidos para as daphnias expostas ao agente tóxico foram mais elevados do que as controle. Desta forma, parece que o lixiviado de aterro sanitário altera o ciclo reprodutivo do reativo biológico utilizado nos ensaios.

A análise estatística ANOVA demonstrou haver diferenças significativas ($\alpha < 0,05\%$) entre os organismos controle e os contaminados por líquido percolado. Porém, aplicando-se o mesmo teste estatístico, comparando-se os resultados obtidos para as daphnias expostas a diferentes concentrações de chorume bruto, as concentrações testadas não diferiram entre si, apresentando níveis de significância de 0,977 (número de filhotes no primeiro dia), 0,670 (número de progênes) e 0,618 (número total de filhotes).

Para o parâmetro longevidade, as daphnias expostas ao líquido percolado bruto sobreviveram por cerca de 18 dias (18,39 dias quando expostas a 0,50% de chorume; 18,91 dias para 0,75% de chorume; 18,07 dias para 1,00% de chorume). Assim, constatou-se que o organismo é afetado pelo agente tóxico não sobrevivendo nem 1/3 do ciclo de vida estimado para a espécie, que é de 3 meses.

Os dados obtidos no monitoramento da longevidade foram avaliados pela análise estatística ANOVA. Da mesma forma que para as demais variáveis, observou-se diferenças significativas entre o controle e as concentrações testadas, porém comparando-se os resultados obtidos entre as concentrações de agente tóxico avaliadas obteve-se um nível de significância igual ao de 0,724, isto é, não houveram diferenças entre as diluições de líquido percolado utilizadas para contaminar *D.magna*. Parece que independente da concentração de lixiviado bruto, a qual contamina-se o bioindicador, o efeito decorrente é similar em todas condições.

Os resultados para o parâmetro tamanho corpóreo diferem para as daphnias controle e expostas a líquido percolado bruto, variando em cerca de 1 mm e sugerindo que os indivíduos contaminados, além de sofrerem alterações no seu ciclo reprodutivo, também modificam seu tamanho.

Os dados obtidos foram avaliados pela análise da variância ANOVA e apresentaram diferenças significativas entre controle e concentrações testadas. Contudo, quando comparados os resultados entre as diluições testadas, as mesmas apresentaram um nível de significância de 0,886, não diferindo entre si.

Em síntese, observou-se que para todos os parâmetros de ciclo de vida monitorados, o líquido percolado bruto alterou o ciclo reprodutivo de *D.magna*, provavelmente devido a

heterogeneidade dos elementos que constituem o líquido percolado, que atuam de forma diferenciada sobre o metabolismo e reprodução de *D.magna*.

Para verificar possíveis relações entre os parâmetros de ciclo de vida, avaliou-se, através da análise estatística de regressão linear, os dados obtidos quanto ao número total de filhotes e tamanho corpóreo das fêmeas. A equação obtida encontra-se abaixo, bem como o coeficiente de correlação (R^2).

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ filhotes} &= -143,80 + 71,577 * \text{T.corpóreo} \\ R^2 &= 0,733 \end{aligned} \qquad \text{Equação 5.1}$$

A análise dos dados indicou que o modelo é altamente explicativo, desta forma observando o tamanho corpóreo das fêmeas é possível estimar a quantidade de filhotes que serão eclodidos em um período de tempo.

A mesma análise foi realizada avaliando a relação existente entre o número de progênes e o tamanho corpóreo das fêmeas expostas ao agente tóxico no período de 21 dias de cada ensaio. A equação obtida encontra-se abaixo, bem como o coeficiente de correlação (R^2). Utilizou-se a análise estatística de regressão linear para correlacionar os dados.

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ progênes} &= -4,191 + 2,686 * \text{T.corpóreo} \\ R^2 &= 0,641 \end{aligned} \qquad \text{Equação 5.2}$$

O modelo proposto explica 64% da variação do número de progênes eclodidas pela variação do tamanho corpóreo das mães, sendo assim altamente explicativo. Desta forma, é possível estimar o número de progênes gerados a partir do monitoramento do tamanho corpóreo das fêmeas expostas ao agente tóxico líquido percolado bruto.

A Tabela 5.8 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de ciclo de vida, monitorados para F_1 (progênie) das fêmeas expostas ao agente tóxico.

TABELA 5.8 – Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com *Daphnia magna* (F₁) previamente contaminada com líquido percolado bruto.

Concentração	Primeira Progênie (dias)	Nº fil. 1º Progênie (ind.)	Nº Progênies	Nº Filhotes (ind.)	Longevidade (dias)
Controle	7,69	2,25	1,20	3,10	20,55
0,50% inicial	7,57	2,47	1,17	4,53	18,03
0,75% inicial	6,92	2,23	0,76	2,68	20,16
1,00% inicial	4,39	1,16	1,12	4,04	18,83

Os resultados apresentados na Tabela 5.9 referem-se aos dados médios obtidos nos três primeiros ensaios de reprodução multigeração.

Constatou-se que para os parâmetros de ciclo de vida: dias para a primeira progênie e número de filhotes na primeira progênie, apresentam valores decrescentes com o aumento na concentração do agente tóxico utilizado.

Quando comparados os resultados obtidos para F₀ e F₁, para os organismos controle, verificou-se que não há alterações significativas nos resultados obtidos para os parâmetros de ciclo de vida. Demonstrando, desta forma, a integridade dos indivíduos em teste. Para os parâmetros biológicos: número de progênies, número de filhotes e longevidade, constatou-se que os resultados para F₁ são inferiores aos obtidos para F₀. Porém, os dados não apresentam uma diferença significativa entre eles.

Analisando-se os resultados obtidos no monitoramento da F₁ com o parental exposto ao agente tóxico, quanto ao número de progênies, número de filhotes e longevidade, parece haver um incremento nos valores encontrados, porém esta diferença

não ocorre de forma proporcional a medida que aumenta a concentração de líquido percolado utilizada na contaminação de F_0 .

A análise estatística ANOVA demonstrou não haver diferenças significativas ($\alpha < 0,05\%$) entre os organismos controle e os contaminados com líquido percolado bruto para todos os parâmetros de ciclo de vida monitorados.

Assim, a F_0 contaminada por um período de 21 dias com líquido percolado bruto em concentrações iguais a 0,50%, 0,75% e 1,00% sofreu alterações significativas na sua reprodução, conforme constatado pela análise estatística dos resultados. Enquanto, a F_1 gerada por mães pré-expostas ao líquido percolado não parece ter sofrido alterações no ciclo reprodutivo, uma vez que não foram observadas diferenças estatísticas entre os resultados obtidos para os organismos controle e os gerados pelos indivíduos contaminados.

5.5.2 Análise dos resultados - líquido percolado tratado

A Tabela 5.9 apresenta os resultados médios obtidos nas três repetições monitoradas dos ensaios de reprodução avaliando-se o líquido percolado tratado.

Ressalta-se que os dados obtidos para as daphnias controle são os mesmos que para os ensaios utilizando-se líquido percolado bruto.

O líquido percolado bruto utilizado como agente tóxico nos três ensaios de reprodução realizados apresentou uma DQO média de 117 mg.L^{-1} e uma DBO média de 5 mg.L^{-1} .

TABELA 5.9 – Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com *Daphnia magna* (F₀) contaminada com líquido percolado tratado.

Concentração	Primeira Progênie (dias)	Nº Fil. Pm. Prog. (ind.)	Nº Prog.	Nº Fil. (ind.)	Longevidade (dias)	Tamanho Corpóreo (mm)
Controle	7,73	1,87	1,93	5,33	21,00	2,26
Percolado						
80%	7,90	11,13	3,33	39,73	21,00	2,63
90%	7,43	12,20	3,27	44,07	19,21	2,55
100%	7,48	13,00	3,33	49,67	19,48	2,49

Observando os dados apresentados na Tabela 5.9, constata-se que não há diferenças significativas entre o tempo necessário para a primeira eclosão dos organismos controle e os contaminados com diferentes concentrações de líquido percolado tratado.

A análise estatística ANOVA, demonstrou não haver diferenças significativas entre os resultados encontrados para o controle (7,73 dias) e as concentrações testadas. Assim, sugerindo que a contaminação de *D.magna* com as concentrações de 80% (7,9 dias), 90% (7,43 dias) e 100% (7,48 dias) de líquido percolado tratado não desencadeiam alterações quanto ao tempo de eclosão dos filhotes.

Os parâmetros número de filhotes na primeira progênie, número de progênes e número de filhotes, foram monitorados durante os 21 dias dos ensaios, apresentando valores superiores aos verificados para os organismos controle.

Os resultados sugerem que os organismos contaminados com líquido percolado têm como principal efeito um aumento na sua fertilidade, o que poderia resultar em um envelhecimento precoce das mesmas.

A análise da variância ANOVA dos dados dos parâmetros: número de filhotes, número total de progênes e número de filhotes na primeira progênie demonstrou haver diferenças significativas a nível de 5% quando comparadas as concentrações testadas e controle. Porém, não há diferenças entre os resultados obtidos entre as concentrações avaliadas.

Quanto a longevidade dos organismos, observa-se, pela análise da Tabela 5.9, que os organismos controle e os contaminados com 80% de líquido percolado tratado e apresentaram um tempo de sobrevivência de 21 dias. Enquanto que para as concentrações de 90% e 100% de chorume tratado, o tempo de sobrevivência foi reduzido para 19,21 e 19,48 dias, respectivamente. Os resultados da análise estatística ANOVA demonstraram que para o nível de significância de 5% os valores não são significativos (0,248).

O tamanho corpóreo das fêmeas foi medido ao final dos 21 dias de ensaio, obtendo-se o maior tamanho médio igual a 2,63mm quando os indivíduos foram contaminados com uma diluição de 80% de líquido percolado tratado. Da mesma forma que os demais parâmetros, aplicou-se a análise da variância ANOVA para constatar diferenças entre os resultados. Comparando os organismos contaminados com líquido percolado tratado, não obteve-se diferenças significativas a nível de significância de 5% entre as concentrações testadas.

Em resumo, o líquido percolado tratado modifica o processo de reprodução de *D.magna* , uma vez que para todos os parâmetros de ciclo de vida monitorados houveram diferenças significativas entre os organismos controle e os contaminados com líquido percolado tratado. Assim, como o verificado para o líquido percolado bruto, o chorume tratado também influencia nos parâmetros: tempo de eclosão das progênes, número de filhotes, número de progênes, tamanho corpóreo e longevidade do organismo.

Da mesma forma que para chorume bruto, relacionou-se, utilizando a análise de regressão linear, os dados obtidos para número de filhotes totais e tamanho corpóreo das fêmeas contaminadas com líquido percolado tratado. A equação obtida encontra-se a seguir, assim como o coeficiente de correlação (R^2).

$$\begin{aligned} \text{Nº filhotes} &= -76,176 + 44,572 * \text{T.corpóreo} \\ R^2 &= 0,167 \end{aligned} \qquad \text{Equação 5.3}$$

Para *D.magna* contaminada com líquido percolado tratado o modelo apresentado não é explicativo, sendo que em 16% dos casos o número de filhotes totais gerados é explicado pelo tamanho das fêmeas.

Avaliou-se a relação existente entre o número de progênes geradas pelas mães expostas a diferentes concentrações de líquido percolado tratado e o tamanho corpóreo das mesmas. A análise de regressão linear foi aplicada para tratamento dos dados obtendo-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Nº progênes} &= -1,894 + 1,954 * \text{T.corpóreo} \\ R^2 &= 0,139 \end{aligned} \qquad \text{Equação 5.4}$$

A Equação 5.4 não é um modelo adequado para a explicação da variação no número de progênie geradas a partir do tamanho corpóreo das fêmeas expostas ao lixiviado tratado, uma vez que a correlação entre os parâmetros de ciclo de vida dos indivíduos foi igual a 0,139.

A Tabela 5.10 apresenta os resultados obtidos durante o monitoramento de 21 dias dos parâmetros de ciclo de vida para os indivíduos da F_1 das fêmeas expostas ao agente tóxico líquido percolado tratado.

TABELA 5.10 – Média dos resultados para os parâmetros de ciclo de vida monitorados durante os três ensaios de reprodução com *Daphnia magna* (F₁) previamente contaminada com líquido percolado tratado.

Concentração	Primeira Progênie (dias)	Nº fil. 1º Progênie (ind.)	Nº Progênies	Nº Filhotes (ind.)	Longevidade (dias)
Controle	7,69	2,25	1,20	3,10	20,55
80% inicial	2,29	0,25	0,21	0,64	17,28
90% inicial	3,49	0,47	0,43	1,13	19,60
100% inicial	3,75	0,77	0,43	1,13	19,02

Os resultados apresentados na Tabela 5.10 referem-se aos dados médios obtidos nos três ensaios de reprodução, cabe salientar que o número amostral de indivíduos diferiu para cada concentração.

Observa-se, pela análise da Tabela 5.10, que em todos os parâmetros de ciclo de vida monitorados: número de dias para a eclosão da primeira progênie, número de filhotes na primeira progênie, número de progênies, número de filhotes e longevidade, os organismos contaminados por líquido percolado tratado apresentaram valores inferiores aos verificados para os indivíduos controle.

A análise da integridade dos organismos denominados controle foi discutida no item Análise dos resultados - líquido percolado bruto.

A análise conjunta dos dados apresentados nas Tabelas 5.9 e 5.10, os quais referem-se ao monitoramento da F₀ e F₁ de daphnias, demonstraram uma redução significativa nas variáveis monitoradas para os organismos da F₁.

Assim, a F₀ submetida a uma contaminação constante (21 dias) de líquido percolado tratado teve um incremento significativo nos parâmetros de reprodução

monitorados, enquanto sua F_1 apresentou valores acentuadamente menores para as mesmas variáveis avaliadas. Em síntese, as daphnias mães (F_0) e os filhotes destas (F_1) sofreram significativas alterações, de forma diferencial, em decorrência da contaminação por lixiviado tratado.

A análise estatística ANOVA demonstrou existirem diferenças significativas ($\alpha < 0,05\%$) entre os indivíduos controle e os contaminados com líquido percolado tratado.

Sendo assim, os indivíduos da F_1 gerados por fêmeas submetidas ao agente tóxico estudado sofreram alterações no seu ciclo reprodutivo, ou seja, a integridade dos organismos após a contaminação não foi restabelecida, diferente do que ocorreu com indivíduos expostos a líquido percolado bruto, onde não alterou sua integridade.

5.5.3 Avaliação dos resultados obtidos nos ensaios de reprodução definitivos

Segundo Koivisto (1995) os parâmetros de ciclo de vida mais frequentemente estudados são sobrevivência, tamanho corpóreo e tamanho da progênie gerada. O presente estudo procurou monitorar o maior número de variáveis, assim como os mais frequentes buscando um modelo que auxiliasse na compreensão dos efeitos decorrentes da contaminação de organismos (*Daphnia magna*) por líquido percolado de aterro sanitário.

O monitoramento, ao longo dos 21 dias de cada ensaio, dos parâmetros de ciclo de vida com daphnias parentais (F_0) contaminados com líquido percolado bruto demonstrou haver alterações na reprodução do reativo biológico: aumentando o tempo de eclosão das progênies, número de filhotes, número de progênies e tamanho corpóreo e diminuindo o tempo de sobrevivência dos indivíduos, independente da concentração de lixiviado a qual os organismos foram expostos. Enquanto que a F_1 das daphnias expostas previamente ao

líquido percolado bruto parece não ter sofrido modificações no seu ciclo reprodutivo, quando transferidas para um meio isento do agente tóxico.

Os mesmos ensaios foram desenvolvidos avaliando-se os efeitos causados pelo líquido percolado tratado na reprodução do bioindicador testado (F_0). Os resultados evidenciaram alterações no comportamento reprodutivo de *D.magna*: aumento no número de filhotes gerados na primeira progênie, número de progênies, número de filhotes e tamanho corpóreo e redução no tempo de sobrevivência dos indivíduos. A F_1 das fêmeas expostas ao agente tóxico em questão, apesar de haver sido transferida para um meio isento de contaminante não conseguiu restabelecer sua integridade reprodutiva.

Pela análise dos dados obtidos, sugere-se que os efeitos do líquido percolado bruto afetam somente os organismos parentais principalmente na concentração de 1%, não persistindo em sua primeira progênie. Os filhotes da F_1 de parentais pré-expostos a uma situação de stress, devido ao agente tóxico, quando em meio livre da substância química a que foi exposto parece recuperar-se na sua totalidade, demonstrando sua capacidade de resistência após a contaminação, isto devido a continuidade do seu ciclo reprodutivo antes de outro período adverso (nova contaminação).

Outra possibilidade que explicaria a recuperação da integridade reprodutiva da F_1 exposta ao stress encontra-se no fato que os organismos recém-nascidos podem ter sua capacidade de metabolizar xenobióticos aumentada quando expostos a substâncias químicas antes da eclosão (Baldwin et al., 1995).

Por sua vez, quando o agente tóxico é lixiviado tratado ambas gerações tem seu ciclo reprodutivo alterado, com uma F_0 com elevada fertilidade, enquanto a F_1 teve sua reprodução reduzida.

Sánchez et al. (1999) comentaram a importância da investigação da capacidade de recuperação de uma população após os efeitos tóxicos da contaminação por uma substância química, testando sua sobrevivência, crescimento e reprodução.

Observa-se que independente do agente tóxico no qual as daphnias foram expostas, o efeito não é letal, mas altera o ciclo reprodutivo das mesmas, o que pode comprometer a preservação da espécie. Uma possível hipótese explicativa das modificações ocorridas é a ativação de genes ligados a reprodução devido a adversidade do meio, resultando em um número maior de filhotes objetivando a perpetuação da espécie.

Esta alteração reprodutiva demonstra a fragilidade do sistema, pois concentrações baixas de líquido percolado desencadeiam efeitos distintos sobre os organismos parentais e sua progênie, o que pode gerar um sério desequilíbrio no caso de contaminações de ecossistemas.

Neste sentido, Sánchez et al. (1999), em estudos sobre o efeito do pesticida diazona sobre gerações de *D.magna*, constatou que a F_0 foi fortemente afetada pela exposição a diazona, enquanto a F_1 transferida à água limpa apresentou valores normais de sobrevivência, porém a fecundidade e crescimento não recuperaram-se completamente.

Villaroel et al. (2000) constataram uma relação entre o tamanho corpóreo adulto e a reprodução, onde ambos parâmetros reduziram com o aumento na concentração do pesticida tetradifon. Efeito similar havia sido constatado por Hanazato (1998) em seus experimentos com o pesticida carbaril.

Quando comparando-se os resultados dos experimentos com pesticidas (Hanazato, 1998; Sánchez et al., 1999; Villaroel et al., 2000) e líquido percolado, ambos apresentam respostas semelhantes. Assim, as mães sofrem os efeitos mais significativos, enquanto a

progênie recupera-se na sua integridade total ou sofrendo efeitos menores devida a exposição primária (<24h) dos filhotes ao agente tóxico.

Enserink et al. (1990) afirma que o primeiro efeito de substâncias químicas tóxicas sob *D.magna* pode ser uma redução na taxa de crescimento (alterações no tamanho corporal do recém-nascido), sendo um bom indicador das possíveis alterações na reprodução desta espécie em virtude da exposição ao agente tóxico.

Nos experimentos conduzidos o tempo de sobrevivência dos organismos foi um bom indicador das alterações decorrentes da contaminação por líquido percolado bruto e tratado de aterro sanitário.

Neste sentido Ingersoll & Winner (1982) sugerem que a sobrevivência em testes de toxicidade crônica é o melhor indicador da toxicidade porque é menos variável do que parâmetros reprodutivos.

O tempo de sobrevivência dos organismos diminui consideravelmente quando contaminados com líquido percolado, envelhecendo precocemente. Uma hipótese é que a água residuária avaliada interfere no sistema oxidativo de *D.magna*, ocorrendo a geração de radicais livres os quais causam, entre outros danos, o envelhecimento das células.

A análise da relação existente entre parâmetros de ciclo de vida forneceu um modelo que auxiliou na elucidação dos efeitos causados pela contaminação de *D.magna* com líquido percolado bruto de aterro sanitário. Porém, o mesmo não foi constatado quando correlacionou-se os resultados obtidos ao longo do experimento utilizando lixiviado tratado como agente tóxico para o reativo biológico.

Em síntese, o monitoramento do tamanho corpóreo de daphnias possibilita estimar o número de progênies e filhotes que serão gerados somente nos casos em que os indivíduos são expostos a lixiviado bruto de aterro sanitário.

Lampert (1993) afirma que o tamanho da ninhada tem uma correlação positiva intensa com o tamanho corpóreo materno, assim mães maiores produzem mais ovos do que mães menores. Portanto, o modelo encontrado para os efeitos causados pela exposição do organismo ao líquido percolado é verificado para outras situações de stress, porém não explicaria os resultados obtidos para os indivíduos expostos a líquido tratado.

Hanazato (1998) concluiu que o tamanho da ninhada é uma função simples do tamanho corporal materno e não afetado diretamente por substâncias químicas tóxicas e outro stress ambiental. Isto explicaria os resultados encontrados para *D.magna* quando contaminada com chorume tratado.

A relação tamanho corpóreo da fêmea e tamanho da progênie não fornece um modelo equacional, uma vez que outros fatores influenciam sobre o desenvolvimento do organismo, entre eles: produtos resultantes da degradação das substâncias presentes no líquido percolado, concentração final de metais (a qual não foi monitorada no presente estudo), o acúmulo destes compostos nos organismos e suas alterações no metabolismo dos mesmos.

6. CONCLUSOES

Os resultados dos parâmetros físico-químicos monitorados durante o período de março a julho de 2001 sugerem que o líquido percolado gerado no Aterro de Biguacú é proveniente de um sistema de aterramento de resíduos que encontra-se em estágio de degradação metanogênica. Desta forma, o aterro em estudo é caracterizado como antigo e o lixiviado gerado no mesmo encontra-se em processo de estabilização.

O monitoramento da toxicidade aguda do líquido percolado bruto indicou o elevado potencial tóxico do efluente para o reativo biológico *Daphnia magna*.

O líquido percolado tratado não é tóxico para o reativo biológico *Daphnia magna* em ensaios de toxicidade aguda com duração de 24 e 48h.

O líquido percolado bruto alterou o ciclo reprodutivo das fêmeas parentais de *Daphnia magna*, apesar das concentrações utilizadas nos ensaios estarem abaixo de 1%. Enquanto que, a progênie (F₁) de organismos pré-expostos ao agente tóxico é capaz de recuperar-se, sofrendo alterações menores em sua reprodução.

O líquido percolado tratado alterou o ciclo reprodutivo de *Daphnia magna*, quando os organismos parentais foram expostos por um período de 21 dias ao agente tóxico, sendo que sua progênie, mesmo transferida a um meio isento do xenobiótico, não conseguiu recuperar sua integridade reprodutiva.

Os resultados mostram que o líquido percolado poderá acarretar desequilíbrio ecológico em dois sentidos: quando em altas concentrações causa a morte dos indivíduos expostos e em baixas concentrações altera o processo reprodutivo causando um aumento populacional, o que poderá gerar alterações em ecossistemas contaminados pelo xenobiótico.

6.1 Recomendações

Avaliação das unidades que compõem o sistema de tratamento em operação no aterro sanitário.

Verificação de outros parâmetros físico-químicos, tais como: metais, COT e dosagem protéica.

Realização de testes de toxicidade agudo e crônico com outros reativos biológicos e em diferentes condições de laboratório.

Definir estudos sobre sobrevivência de diferentes reativos tóxicos contaminados com líquido percolado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT. **NB 843**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1985.

AMOKRANE, A.; COMEL, C. & VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. **Water Research**, v. 31, n. 11, p. 2775-82, 1997.

APHA, AWWA e WPCF **Standad Methods for Examination of Water and Wastewater**. Washington: Joint Editorial, 1995.

ARRUDA, A.C.S.; TEIXEIRA, C.E.; MANDELLI, S.M.D.C.; PESSIN, N. & SILVA, A.S. Estudo do comportamento de parâmetros físico-químicos relacionados ao processo de estabilização de resíduos sólidos urbanos no Sistema de Remediação de São Giácomo – Caxias do Sul – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador, 1995.

BALDWIN, W.S.; MILAN, D.L. & LEBLANC, G.A. Physioloogical and biochemical pertubations in *Daphnia magna* following exposure to the model environmental estrogen diethylstillbestrol. **Environmental Toxicology Chemistry**, v.14, n. 6, p. 945-952, 1995.

BARBOSA, R.M.; OTERO, O.M.F.; ARGÔLO, J.L.; QUEIROZ, A.F.; SANTOS, V.L.C.S. e OLIVEIRA, O.M.C. O chorume dos depósitos de lixos urbanos: composição, evolução, diluição, extensão, processos, poluição e atenuação. **TecBahia – Revista Bahiana de Tecnologia**, Camaçari, v. 14, n. 1, p. 110-25, 1999.

BARRES, M.; BOUSTER, C.; COLIN, F.; NAVARRO, A.; PILLAY, G.; REVIN, Ph.; ROULPH, Ch.; ROUSSY, J.; VERON, J. & ZIANE, M. **Etude bibliographique sur les lixiviats produits par la mise en decharge de dechets industriels – Rapport final – volume 1/4.** França: Commission des Communautés Europeennes e Ministère de L'Environnement, 1985.

BAUDO, R. Ecotoxicological testing with *Daphnia*. **Mem. Ist. Ital. Idrobiol.**, 45, p. 461-82, 1987.

BERVOETS, L.; BAILLIEUL, M.; BLUST, R.; DE BOECK, G. & VERHEYEN, R. Impact assessment of industrial effluents on freshwater ecosystems. **Science Total Environmental (Suppl.)**, p. 1123-28, 1993.

BIO. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental –ABES, n. 6, abril/junho 1998.

BIO. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental –ABES, n. 11, julho/setembro 1999.

BLOCK, I. & BALK, F. Environmental regulation in European Community. In: RAND, G.M. **Fundamental of Aquatic Toxicology: effects, environment fate and risk assessment.** Estados Unidos: edited by Gary M. Rand, 1995, cap. 27.

BRONW, K.W; SCHRAB, G.E. & DONNELLY, K.C. Acute and genetic toxicity of municipal landfill leachate. **Texas Water Resources Institute**, Texas, 1991.

BULICH, A.A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. **Process Biochemical**, p. 45-7, 1982.

CAMERON, R.D. Toxicity of landfill leachates. **Journal WPCF**, v. 52, n.4, p. 760-69, 1980.

CAMERON, R.D. & McDONALD, E.C. Toxicity of landfill leachate. **Journal Water Pollut. Control Fed.**, v. 4, n.52, p. 760-69, 1982.

CETESB. **Norma CETESB L5.018: teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis***, Claus 1876 (Cladocera, Crustácea). São Paulo, 1986.

CLARETO, C. **Tratamento biológico de líquidos percolados gerados em aterros sanitários utilizando reator anaeróbio compartimentado.** 1997. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CLÉMENT, B.; PERSONNE, G.; JANSSEN, C. & LE DÛ-DELEPIERRE, A. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachate. I. Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests. **Chemosphere**, 33, 11, p. 2303-20, 1996.

CLÉMENT, B.; JANSSEN, C. & LE DÛ-DELEPIERRE, A. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachate. 2. Comparison of physico-chemical characteristics of landfill leachates with their toxicity determined with a battery of tests. **Chemosphere**, 35,11, p. 2783-96, 1997.

COONEY, I.D. Tests in Freshwater. In: RAND, G.M. **Fundamental of Aquatic Toxicology: effects, environmet fate and risk assessment**. Estados Unidos: edited by Gary M. Rand, 1995, cap. 2.

DA LUZ, L.B. **Estudo da toxicidade dos líquidos percolados no Aterro Sanitário da cidade de Biguaçu – SC**. 1998. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DIN. **Norma DIN 38412 Teil 31**. Berlim, 1989.

EHRIG, H-J. **Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos**. Costa Rica: CEPIS/GTZ, 1992.

ENSERINK, L.; LUTTNER, W. & MAAS-DIEPEVEEN, H. Reproductive strategy of *Daphnia magna* affects the sensitivy of its progeny in acute toxicity tests. **Aquatic Toxicology**, 17, p. 15-26, 1990.

FINKLER, R. **Desempenho dos reatores de bancada com aeração como tratamento biológico para líquido percolado**. 1999. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

FOX, R. Invertebrate Anatomy – *Daphnia magna*. Disponível em: <<http://www.science.lander.edu/refox/daphnia.html>>. Acesso em: 24 nov. 2000.

FRELLO, C.P. **Avaliação da toxicidade aguda do pesticida Carbofuran utilizando reativos biológicos *Poecilia reticulata* e *Daphnia magna***. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GARCIA JUNIOR, A.D.; GRANDIN, S.R. & SOBRINHO, P.A. Avaliação da eficácia da adição de produtos biotecnológicos em sistemas de lagoas aeradas tratando percolado de aterro sanitário, em escala de laboratório, 18., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador, 1995.

HANAZATO, T. Growth analysis of *Daphnia* early juvenile stages as an alternative method to test the chronic effect of chemicals. **Chemosphere**, v. 36, n. 8, p. 1903-09, 1998.

IBGE Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 março. 2002.

INGERSOLL, C.G. & WINNER, R.W. Effects on *Daphnia pulex* of daily pulse exposure to copper or cadmium. **Environmental Toxicology Chemistry**, v. 1, p. 321-27, 1982.

JARAMILLO, J. **Guia para el diseno, construccion y operacion de rellenos sanitarios manuales**. EUA: Organizacoin Panamericana de la Salud, 1991.

KNOX, K. Leachate treatment with nitrification of ammonia. **Water Research**, v.19, n. 7, p. 895-904, 1985.

KOENER, R.M. & SOONG, T.-Y. Leachate in landfill: the stability issue. **Geotextiles and Geomembranes**, n. 18, p. 293-309, 2000.

KOIVISTO, S. Is *Daphnia magna* na ecologically representative zooplankton species in toxicity tests? **Environmental Pollution**, v. 90, n. 2, p. 263-67, 1995.

LAMPERT, W. Phenotypic plasticity of the size at first reproduction in *Daphnia*: the importance of maternal size. **Ecology**, v.74, p. 1455-66, 1993.

LEMA, J.M.; MENDEZ, R. & BLAZQUEZ, R. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. **Water, Air and Soil Pollution**, 40, p. 223-50, 1988.

LIMA, L.M.Q. Biorremediação de áreas degradadas por resíduos sólidos – a experiência do Brasil. In: Seminário de Resíduos Sólidos, 1996, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Prefeitura Municipal de Petrolina, 1996.

LO, I.M.-C. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. **Enviromental Internacional**, v. 22, n. 4, p. 433-42, 1996.

LOUKIDOU, M.X. & ZOUBOULIS, A.I. Comparison of two biological treatment processes using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment. **Environmental Pollution**, n. 111, p. 273-81, 2001.

MARIS, P.J.; HARRINGTON, D.W. & CHISON, I. Leachate treatment with particular reference to aerated laggons. **Water Pollution Controll**, p. 521-35, 1984.

MATIAS, W.G. & CREPPY, E.E. 5-methyldeoxycytosine as a biological marker of ADN damage inducedby okadaic acid in Vero cells. **Environmental Toxicology and Water Quality**, v.13, p. 83-88, 1998.

MATIAS, W.G.; TRAORE, A.; BONINI, M.; SANNI, A. & CREPPY, E.E. Oxygen reative radicals production in cell culture by okadaic acid and their implication in protein synthesis inhibition. **Human & Experimental Toxicology**, v. 18, p. 634-39, 1999.

METCALF & EDDY, INC. **Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales**. Espanha: Editorial Labor S.A., 1985.

MILLOT, N. Les lixiviats de décharge contrôlée, caractérisation analytique, étude des filières de raitement. 1986. Tese - INSA de Lyon, Lyon.

OJIMA, M.K. Estudos de alternativas para a disposição de resíduos sólidos – Aterro de São Giácomo. In: MANDELLI, S.M.D.C.; LIMA, L.M.Q. & OJIMA, M.K. **Tratamento de Resíduos Sólidos – Compêndio de Publicações**. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 1991.

PFEFFER, J.T. **Solid waste management engineering**. Estados Unidos: Prentice Hall Inc., 1992.

PINEDA, S.I. **Manejo y disposicion de residuos solidos urbanos**. Colômbia: ACODAL e LIMESA, 1998.

QASIM, S.R. & CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment**. EUA: Technomic, 1994.

ROBINSON, H.D. The development of methanogenic conditions within landfill waste and effects on leachate quality. In: PROCEEDINGS SARDINIA – INTERNACIONAL LANDFILL SYMPOSIUM, 2., 1989, Sardinia. **Anais...** Sardinia, 1989.

RUSSO, M.A.T. & VIEIRA, J.M.P. Estudos sobre tratamento de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2000.

SANCHÉZ, M.; FERRANDO, M.D.; SANCHO, E. e ANDREU, E. Assessment of the toxicity of a pesticide with a two-generation reproduction test using *Daphnia magna*. **Comparative Biochemistry and Physiology – Part C**, n. 124, p. 247-52, 1999.

SEGATO, L.M. & SILVA, C.L. da Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2000.

SÊNIOR, E. **Microbiology of landfill sites**. Estados Unidos: Lewis Publishers, 1995.

SILVA, C.R. **Estudo da frequência de hemócitos micronucleados, induzidos pelo ácido ocadáico, em mexilhões *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia)**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STORES, T.I. **Zoologia Geral**. São Paulo (SP): Companhia Editora Nacional, 1974.

SWITZENBAUM, M.S. Solid and hazardous waste treatment. Estados Unidos: University of Massachusetts, 1992. Notas de aula.

TORRES, P.; BARBA, L.E.; RIASCOS, J. e VIDAL, J.C. Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 55-62, 1997.

TREBOUET, D.; SCHLUMPF, J.P.; JAOUEN, P. & QUEMENEUR, F. Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes. **Water Research**, v.35, n. 12, p. 2935-42, 2001.

VENKATARAMANI, E.S.; AHLERT, R.C. & CORBO, P. Biological treatment of landfill leachates. **Critical Reviews in Environmental Control**, v. 14, n. 4, p. 333-76, 1984.

VILLARROEL, M.I.; FERRANDO, M.D.; SANCHO, E. e ANDREU, E. Effects of tetradifon on *Daphnia magna* during chronic exposure and alterations in the toxicity to generations pre-exposed to the pesticide. **Aquatic Toxicology**, n. 49, p. 39-47, 2000.

ZHANG, L. e BAER, K.N. The influence of feeding, photoperiod and selected solvents on the reproductive strategies of the water flea *Daphnia magna*. **Environmental Pollution**, 110, p. 425-30, 2000.

ANEXO I

**RESULTADOS OBTIDOS NO MONITORAMENTO PARA OS PARÂMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS DETERMINADOS PARA AS AMOSTRAS COLETADAS NO
SISTEMA DE TRATAMENTO DE LÍQUIDO PERCOLADO**

TABELA I.1 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 13.03.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	50.416,00	127,00	99,75%
DBO	6.150,00	8,00	99,87%
pH	7,34	8,17	-
Nitrogênio Total	1.691,20	4,82	99,71%
Nitrogênio Amoniacal	1.296,40	3,22	99,75%
Nitrito	10,36	0,00	100,00%
Nitrato	2,80	0,40	85,71%
Fosfato	4,50	0,00	100,00%
Fluoreto	718,74	0,50	99,93%
Cloreto	2.295,77	17,90	99,22%
Sulfato	52,55	2,46	95,32%
Sólidos Totais	14.666,00	204,00	98,61%
Sólidos Totais Fixos	9.285,00	158,00	98,30%
Sólidos Totais Voláteis	5.381,00	46,00	99,15%
Sólidos Dissolvidos Totais	11.066,00	198,70	98,20%
Sólidos Suspensos Totais	3.600,00	5,30	99,85%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Condições Climáticas: Tempo instável com chuvas pela parte da manhã.

TABELA I.2 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 27.03.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	16.693,00	27,00	99,84%
DBO	2.947,00	7,40	99,75%
pH	8,02	7,47	-
Nitrogênio Total	1.618,40	5,04	99,69%
Nitrogênio Amoniacal	1.394,40	4,14	99,70%
Nitrito	0,00	0,00	0,00%
Nitrato	14,31	1,63	88,61%
Fosfato	0,00	0,00	0,00%
Fluoreto	142,79	0,76	99,47%
Cloreto	8.751,44	56,42	99,35%
Sulfato	95,37	6,97	92,69%
Sólidos Totais	10.795,00	6.806,00	36,95%
Sólidos Totais Fixos	8.065,00	87,00	98,92%
Sólidos Totais Voláteis	2.730,00	6.719,00	S.R.
Sólidos Dissolvidos Totais	10.055,00	6.266,00	37,68%
Sólidos Suspensos Totais	740,00	540,00	27,03%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Condições Climáticas: Tempo chuvoso com precipitações intensas antes da coleta.

TABELA I.3 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 03.04.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	92.984,00	702,00	99,24%
DBO	5.400,00	4,00	99,92%
pH	7,48	6,60	-
Nitrogênio Total	2.088,80	4,26	99,79%
Nitrogênio Amoniacal	1.691,20	2,35	99,86%
Nitrito	0,00	0,00	0,00%
Nitrato	1,93	0,66	65,80%
Fosfato	0,00	0,00	0,00%
Fluoreto	521,51	0,41	99,92%
Cloreto	2.431,94	17,44	99,28%
Sulfato	112,88	1,96	98,26%
Sólidos Totais	14.448,00	191,00	98,68%
Sólidos Totais Fixos	9.136,00	80,00	99,12%
Sólidos Totais Voláteis	5.312,00	111,00	97,91%
Sólidos Dissolvidos Totais	13.435,50	141,00	98,95%
Sólidos Suspensos Totais	1.012,50	50,00	95,06%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Condições Climáticas: Tempo bom e seco, sem chuvas: 48 horas antes da coleta.

TABELA I.4 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 16.04.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada	Saída	Eficiência de Remoção
DQO	77.080,00	38,00	99,95%
DBO	5.550,00	N.R.	-
pH	7,78	7,55	-
Nitrogênio Amoniacal	1.668,80	2,41	99,85%
Nitrito	0,00	0,00	0,00%
Nitrato	196,23	0,62	99,68%
Fosfato	0,00	0,00	0,00%
Fluoreto	839,49	0,29	99,96%
Cloreto	4.526,84	18,59	99,59%
Sulfato	70,02	2,63	96,24%
Sólidos Totais	25.838,00	112,00	99,57%
Sólidos Totais Fixos	15.856,00	62,00	99,61%
Sólidos Totais Voláteis	9.982,00	50,00	99,50%
Sólidos Dissolvidos Totais	22.621,33	99,50	99,56%
Sólidos Suspensos Totais	3.216,67	12,50	99,61%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

O parâmetro nitrogênio total não foi monitorado em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom, sem ocorrência de chuvas a 24 horas.

TABELA I.5 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 08.05.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	23.483,00	77,00	99,67%
DBO	1.236,00	3,30	99,73%
pH	6,97	6,17	-
Alcalinidade	14.900,00	25,20	99,83%
Nitrogênio Amoniacal	1.831,20	4,93	99,73%
Nitrito	0,00	0,00	0,00%
Nitrato	0,00	1,61	S/R
Fosfato	0,00	0,00	0,00%
Fluoreto	829,58	0,20	99,97%
Cloreto	3.268,59	2,26	99,93%
Sulfato	19,16	4,45	76,77%
Sólidos Totais	25.990,00	155,00	99,40%
Sólidos Totais Fixos	13.721,00	35,00	99,74%
Sólidos Totais Voláteis	12.269,00	120,00	99,02%
Sólidos Dissolvidos Totais	25.297,00	130,00	99,49%
Sólidos Suspensos Totais	693,00	25,00	96,39%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

O parâmetro nitrogênio total não foi monitorado em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom e seco, sem precipitações fortes a cerca de 48 horas antes da coleta

TABELA I.6 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 22.05.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	31.008,00	46,20	99,85%
DBO	6.625,00	3,10	99,95%
pH	7,34	7,21	-
Alcalinidade	11.133,33	22,50	99,80%
Nitrogênio Amoniacal	1.702,40	2,80	99,83%
Nitrito	0,00	0,00	0,00%
Nitrato	11,09	0,46	95,85%
Fosfato	0,00	0,00	0,00%
Fluoreto	322,16	0,125	99,96%
Cloreto	977,97	6,48	99,34%
Sulfato	69,68	2,54	96,35%
Sólidos Totais	12.722,00	18,00	99,86%
Sólidos Totais Fixos	6.971,00	15,00	99,78%
Sólidos Totais Voláteis	5.751,00	3,00	99,95%
Sólidos Dissolvidos Totais	12.057,00	15,30	99,87%
Sólidos Suspensos Totais	665,00	2,70	99,59%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

O parâmetro nitrogênio total não foi monitorado em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom com ausência de chuvas.

TABELA L7 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 05.06.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	23.766,00	265,00	98,88%
DBO	8.700,00	5,70	99,93%
pH	7,40	6,95	-
Alcalinidade	4.800,00	40,00	99,17%
Nitrogênio Amoniacal	840,00	4,76	99,43%
Sólidos Totais	11.007,00	134,00	98,78%
Sólidos Totais Fixos	6.168,00	93,00	98,49%
Sólidos Totais Voláteis	4.839,00	41,00	99,15%
Sólidos Dissolvidos Totais	9.123,67	61,27	99,33%
Sólidos Suspensos Totais	1.883,33	72,73	96,14%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Os parâmetros nitrogênio total, nitrito, nitrato, nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto e sulfato não foram monitorados em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom com ausência de chuvas fortes a 24 horas.

TABELA 1.8 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 19.06.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	5.993,00	39,00	99,34%
DBO	1.350,00	6,60	99,51%
pH	7,43	6,92	-
Alcalinidade	5.707,00	40,60	99,28%
Nitrogênio Amoniacal	1.005,20	4,00	99,60%
Sólidos Totais	9.427,00	121,00	98,71%
Sólidos Totais Fixos	7.054,00	88,00	98,75%
Sólidos Totais Voláteis	2.373,00	33,00	98,61%
Sólidos Dissolvidos Totais	8.827,00	101,00	98,85%
Sólidos Suspensos Totais	600,00	20,00	96,66%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Os parâmetros nitrogênio total, nitrito, nitrato, nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto e sulfato não foram monitorados em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo instável, com ocorrência de chuvas em um período inferior a 12 horas antes da coleta.

TABELA I.9 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 03.07.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	2.877,00	50,00	98,26%
DBO	1.550,00	1,70	99,89%
pH	7,98	7,28	-
Alcalinidade	7.220,00	26,40	99,63%
Nitrogênio Amoniacal	1.282,40	3,28	99,74%
Sólidos Totais	9.834,00	186,00	98,10%
Sólidos Totais Fixos	7.238,00	158,00	97,81%
Sólidos Totais Voláteis	2.596,00	28,00	98,92%
Sólidos Dissolvidos Totais	8.540,00	144,18	98,31%
Sólidos Suspensos Totais	1.294,00	41,82	96,76%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Os parâmetros nitrogênio total, nitrito, nitrato, nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto e sulfato não foram monitorados em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo instável, com precipitações intensas.

TABELA I.10 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 10.07.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	5.875,00	116,00	98,02%
DBO	1.825,00	7,60	99,58%
PH	7,83	7,92	-
Alcalinidade	6.860,00	20,00	99,70%
Nitrogênio Amoniacal	1.318,80	2,02	99,84%
Sólidos Totais	9.748,00	250,00	97,43%
Sólidos Totais Fixos	7.329,00	91,00	98,76%
Sólidos Totais Voláteis	2.419,00	159,00	93,43%
Sólidos Dissolvidos Totais	9.571,00	242,00	97,47%
Sólidos Suspensos Totais	177,00	8,00	95,48%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Os parâmetros nitrogênio total, nitrito, nitrato, nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto e sulfato não foram monitorados em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom, sem ocorrência de chuvas fortes a 96 horas.

TABELA I.11 – Concentrações verificadas para os parâmetros físico-químicos determinados para as amostras coletadas no dia 17.07.01 no sistema de tratamento de líquido percolado e respectivas eficiências de remoção.

Parâmetro	Entrada do Sistema	Saída do Sistema	Eficiência de Remoção
DQO	3.635,00	59,00	98,38%
DBO	925,00	7,10	99,23%
pH	7,49	6,69	-
Alcalinidade	3.460,00	23,10	99,33%
Nitrogênio Amoniacal	537,60	2,60	99,52%
Sólidos Totais	3.924,00	90,00	97,71%
Sólidos Totais Fixos	3.143,00	54,00	98,28%
Sólidos Totais Voláteis	781,00	36,00	95,39%
Sólidos Dissolvidos Totais	3.297,33	59,00	98,21%
Sólidos Suspensos Totais	626,67	31,00	95,05%

Obs.: Resultados expressos em mg.L⁻¹, exceto pH.

Os parâmetros nitrogênio total, nitrito, nitrato, nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto e sulfato não foram monitorados em virtude de problemas técnicos com os equipamentos.

Condições Climáticas: Tempo bom e seco, sem ocorrência de chuvas fortes 96 horas.

ANEXO II

RESULTADOS DOS TESTES DE SENSIBILIDADE

TABELA IL1. – Resultados obtidos nos ensaios para determinação da sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* após um período de exposição de 24 horas a dicromato de potássio.

Concentração mg.L ⁻¹	Nº de daphnias imóveis									
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10
0,0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0,7	01	00	02	01	04	03	00	00	00	01
0,9	07	00	02	04	08	09	05	02	00	07
1,1	10	08	04	09	10	10	06	06	07	08
1,3	10	10	08	10	10	10	05	08	10	10
1,5	10	10	10	10	10	10	09	09	10	10
1,7	10	10	10	10	10	10	09	09	10	10

Legenda: t. = Teste

TABELA IL.2 – Valores calculados para a análise da variância ANOVA: fator único para os diferentes testes de sensibilidade ao dicromato de potássio, a partir do número de daphnias imóveis após um período de 24 horas.

Grupo	Soma	Média	Soma ²
Coluna 1	48	6,85714	2304
Coluna 2	38	5,42857	1444
Coluna 3	36	5,14286	1296
Coluna 4	44	6,28571	1936
Coluna 5	52	7,42857	2704
Coluna 6	52	7,42857	2704
Coluna 7	31	4,42857	961
Coluna 8	34	4,85714	1156
Coluna 9	37	5,28571	1369
Coluna 10	46	6,57143	2116

TABELA II.3 – Resultados obtidos na análise de variância ANOVA para o teste de sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* a dicromato de potássio em um período de exposição de 24 horas.

Causas da Variação	GL	Q	QM	F
Tratamento	9	73,9429	8,2159	0,4355*
Erro experimental	60	1132,0000	18,8667	
Total	69	1205,9429		

ANEXO III

RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE AGUDA

TABELA III.1. – Resultados obtidos nos ensaios para determinação da sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* após um período de exposição de 24 horas a líquido percolado bruto.

Concentração mg.L ⁻¹	Nº de daphnias imóveis										
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11
Controle	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1,0%	00	00	00	00	00	00	01	00	01	00	00
2,5%	00	00	00	01	01	00	00	00	00	01	00
5,0%	00	03	00	03	02	06	03	00	03	07	00
7,5%	00	10	07	05	09	10	03	03	08	10	00
10%	05	10	10	08	10	10	04	10	10	10	00

Legenda: T. = Teste

TABELA III.2. – Resultados obtidos nos ensaios para determinação da sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* após um período de exposição de 48 horas a líquido percolado bruto.

Concentração mg.L ⁻¹	Nº de daphnias imóveis										
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11
Controle	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1,0%	00	00	00	00	00	00	01	00	01	00	00
2,5%	00	00	01	02	01	00	00	00	01	01	00
5,0%	01	07	00	03	04	09	03	00	03	09	00
7,5%	01	10	07	09	10	10	03	07	09	10	00
10%	08	10	10	10	10	10	05	10	10	10	02

Legenda: T. = Teste

TABELA III.3. – Resultados obtidos nos ensaios para determinação da sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* após um período de exposição de 24 horas a líquido percolado tratado.

Concentração mg.L ⁻¹	Nº de daphnias imóveis										
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11
Controle	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1,0%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5,0%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
7,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
10%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Legenda: T. = Teste

TABELA III.4. – Resultados obtidos nos ensaios para determinação da sensibilidade do reativo biológico *Daphnia magna* após um período de exposição de 48 horas a líquido percolado tratado.

Concentração mg.L ⁻¹	Nº de daphnias imóveis										
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11
Controle	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1,0%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5,0%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
7,5%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
10%	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Legenda: T. = Teste

ANEXO IV

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE REPRODUÇÃO DEFINITIVOS

QUADRO IV.1 – resultados obtidos na primeira avaliação dos ensaios de reprodução.

Concentração	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Controle	00	00	00	00	0,00%	0,224	00	00	00	00	00
0,50%	224,00	112,00	9,67	5,33	40,00%	0,317	328,00	65,60	7,00	16,38	3,60
0,75%	249,00	124,50	7,50	5,50	60,00%	0,380	261,00	52,20	5,40	14,72	2,40
1,00%	277,00	138,50	15,50	4,50	60,00%	0,370	301,00	60,20	11,00	14,80	2,20
80%	108,00	21,60	12,40	3,00	0,00%	0,280	108,00	21,60	12,40	21,00	3,00
90%	68,00	17,00	14,25	2,00	20,00%	0,265	73,00	14,60	12,40	18,58	1,80
100%	75,00	25,00	16,67	2,33	40,00%	0,253	107,00	21,40	14,20	17,50	2,20

Legenda:

- 1 – Número de filhotes
- 2 – Número de filhotes/fêmea
- 3 – Número de filhotes na primeira ninhada
- 4 – Gerações/fêmea
- 5 – Mortalidade (%)
- 6 – Tamanho (cm)
- 7 – Número de filhotes considerando mortalidade
- 8 – Número de filhotes/fêmea considerando mortalidade
- 9 – Número de filhotes na primeira ninhada considerando mortalidade
- 10 – Longevidade (dias)
- 11- Gerações/fêmea considerando mortalidade

QUADRO IV.2 – Resultados obtidos na primeira avaliação dos ensaios de reprodução.

Concentração	1	2	3	4	5	6	7
Controle	31,00	6,20	2,20	2,60	21,00	0,235	10,12
0,50%	446,00	89,20	8,40	5,60	21,00	0,340	7,00
0,75%	441,00	88,20	8,80	5,20	21,00	0,320	7,98
1,00%	578,00	115,20	11,20	5,80	21,00	0,366	7,20
80%	163,00	32,60	13,00	3,60	21,00	0,252	7,20
90%	151,00	30,20	13,40	3,60	21,00	0,257	7,20
100%	184,00	36,80	13,80	2,80	20,40	0,262	7,20

Legenda:

- 1 – Número de filhotes
- 2 – Número de filhotes/fêmea
- 3 – Número de filhotes na primeira ninhada
- 4 – Gerações/fêmea
- 5 – Longevidade
- 6 – Tamanho (cm)
- 7 – Dias para a primeira ninhada

QUADRO IV.3 – Resultados obtidos na terceira avaliação dos ensaios de reprodução.

Concentração	1	2	3	4	5	6	7
Controle	49	9,80	3,40	3,20	0%	0,220	10,12
0,50%	334	66,80	15,60	3,80	0%	0,308	7,00
0,75%	391	78,20	16,00	3,40	0%	0,308	7,98
1,00%	426	106,50	9,00	4,50	20%	0,300	7,20
80%	325	65,00	8,20	3,40	0%	0,272	7,20
90%	284	94,67	10,67	4,67	40%	0,275	7,20
100%	394	98,50	11,50	5,50	20%	0,266	7,20

Legenda:

- 1 – Número de filhotes
- 2 – Número de filhotes/fêmea
- 3 – Número de filhotes na primeira ninhada
- 4 – Gerações/fêmea
- 5 – Longevidade
- 6 – Tamanho (cm)
- 7 – Dias para a primeira ninhada